MOTORES E GERADORES

PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO, INSTALAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE GRUPOS DIESEL GERADORES

11 – POTÊNCIA MECÂNICA X POTÊNCIA ELÉTRICA

Quando se fala de potência elétrica, é necessário ter em mente a diferença entre *POTÊNCIA APARENTE* e *POTÊNCIA ATIVA*. A potência aparente é aquela necessária para que, com determinados valores de tensão e fluxo de corrente, um certo consumidor funcione corretamente. A potência ativa é a potência efetivamente consumida ou transformada pelo mesmo consumidor. A relação entre as duas potências é definida como fator de potência e conhecida como:

$\cos\varphi = kW \div KVA$ Ou $kW = KVA \times \cos\varphi$

A potência do grupo Diesel-gerador, definida em KVA (potência aparente), está em relação direta com a potência em HP ou CV do motor Diesel. No cálculo para definir a potência do grupo gerador, são consideradas as perdas (rendimento do alternador) e a potência mecânica do motor Diesel é convertida diretamente em kW, sabendo-se que 1 HP = 0,7457 kW ou 1 kW = 1,3598 CV e que kW = KVA x $\cos\varphi$. O fator de potência ($\cos\varphi$) é uma função da carga. Universalmente, utiliza-se $\cos\varphi = 0{,}8$, de acordo com a norma VDE 0530, para a construção de máquinas elétricas. Atualmente, o valor limite estabelecido como mínimo admitido pelas concessionárias de energia elétrica é de $\cos\varphi = 0{,}92$. Instalações com fator de potência inferior a 0,92 tem tarifas mais elevadas (multas) pois, para consumir uma determinada quantidade de kWh, colocam em circulação uma corrente mais elevada do que a que seria suficiente com um fator de potência mais alto. A corrente elétrica que percorre os circuitos consumidores produz também a POTÊNCIA REATIVA (Indutiva ou Capacitiva), que será considerada em outro capítulo.

Assim, a potência, em HP do motor Diesel, pode ser calculada em função da potência, em KVA, e fator de potência do alternador, pela relação:

$HP \times 0{,}7457 \times \eta = KVA \times 0{,}8$, onde η = rendimento do alternador. Ou:

$HP = (1{,}0728 \times KVA) \div \eta$ .Para o cálculo em CV, basta substituir 0,7457 por 0,7354, resultando: $CV = (1{,}0878 \times KVA) \div \eta$.

O rendimento do alternador (η) não é constante e se aproxima do seu valor máximo com a carga entre 80 e 100% da potência máxima. Alternadores pequenos tem rendimento mais baixo do que os alternadores maiores (até 0,93 acima de 250 KVA). Deve ser informado pelo fabricante para cálculos mais seguros. Quando se tratar de cálculos estimativos, pode ser tomado igual 90% (ou 0,9), que é o valor adotado pelos montadores de grupos geradores, em geral.

12 – GRUPO DIESEL-GERADOR

Denominamos grupo Diesel-gerador ao conjunto de motor Diesel e gerador de corrente alternada, aqui denominado alternador, convenientemente montados, dotado dos componentes de supervisão e controle necessários ao seu funcionamento autônomo e destinado ao suprimento de energia elétrica produzida a partir do consumo de óleo Diesel. Em função dos consumidores de energia elétrica a que se destinam, os grupos geradores são construídos com características especiais que os tornam apropriados para diversas aplicações. São muitos os fatores a serem considerados antes da aquisição do equipamento adequado. Os fornecedores de grupos geradores tendem a padronizar os seus produtos, evitando os fornecimentos especiais sob encomenda, o que na prática é inviável, pois há situações em que alguns requisitos do ambiente e dos consumidores não podem deixar de ser atendidos. É o caso, por exemplo, dos equipamentos de telecomunicações, que necessitam de tensão e freqüência sem oscilações, com baixos fatores de interferência, que somente se consegue, em grupos geradores, com alternadores especialmente fabricados para esta finalidade. Outro exemplo: os grupos geradores para uso naval, fabricados sob fiscalização das sociedades classificadoras, que em tudo diferem do que seria considerado um grupo gerador de uso industrial. Outros fatores, como nível de ruído, capacidade de operar em paralelo com outro grupo ou com a rede local, tempo de partida, capacidade de partida e parada automática, telemetria e controle remoto, durabilidade estendida do óleo lubrificante, em muitos casos, são exigências inerentes aos consumidores a serem atendidas pelo equipamento. Em todas as situações, uma avaliação criteriosa deve ser feita como parte do projeto da instalação de um grupo gerador. Na maioria das vezes, o grupo gerador "de prateleira", oferecido pelo fornecedor, não é a melhor solução.

Para o dimensionamento correto do grupo gerador, algumas perguntas devem ser respondidas antecipadamente, tais como:

a) – Qual o tipo de carga? (iluminação, motores de indução, fornos, canteiro de obras, retificadores de corrente, equipamentos de telecomunicações?)

b) – Qual o local de serviço? (mar, terra, ambientes com atmosfera explosiva?)

c) – Quais as características do local? (temperatura ambiente dominante, altitude, nível de contaminação do ar por partículas sólidas?)

d) – Qual o regime de operação? (o grupo gerador é a única fonte de energia elétrica? É reserva da rede local ou de outro grupo gerador? Quantas horas de operação por dia?)

e) – Quanto tempo os consumidores podem ficar desligados?

f) – Quais os riscos envolvidos no caso de uma interrupção do fornecimento de energia por defeito no equipamento?

Uma vez definidas as necessidades, é o momento de calcular a potência do grupo gerador.

12.1 – DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA

Depois de definidas as características da aplicação, o mais importante é determinar a potência do grupo gerador. Ao mesmo tempo, deve-se considerar a conveniência da subdivisão da potência total requerida em vários grupos geradores de menor porte. Os fatores determinantes do tamanho do grupo gerador são:

Soma das potências de todos os consumidores. Para grupos geradores de emergência, devemos fazer distinção entre *consumidores essenciais* e *consumidores não essenciais* e seus respectivos tempos de interrupção admissíveis.

Nem todos os consumidores estão ligados simultaneamente ou atingem, ao mesmo tempo, seu consumo máximo de energia (fator de simultaneidade).

Alguns consumidores absorvem exclusivamente potência ativa enquanto outros absorvem potência aparente (fator de potência = cosφ).

Consumidores especiais, por exemplo, com características de carga brusca (golpe) ou requisitos extremos em relação à constância da tensão e freqüência, devem ser levados em conta.

O tipo de corrente, tensão e freqüência deverão corresponder aos valores nominais da rede pública local.

No caso de condições climáticas especiais no local de instalação (grande altitude, temperaturas e umidade do ar elevadas), o motor e alternador não poderão apresentar sua potência normal e deverão ter seus valores reduzidos de acordo com as normas DIN 6270 e VDE 0530.

12.1.1 – CONSUMIDORES ELÉTRICOS

Ao se projetar novas instalações, já é calculada a potência requerida para a conexão à rede pública. Para o dimensionamento do grupo gerador de emergência, é necessário conhecer, além da potência ativa (kW), também a potência aparente (KVA) ou o fator de potência (cosφ) e o fator de simultaneidade.

Durante o projeto de um grupo gerador de emergência para um prédio existente, com consumidores já instalados, a potência ativa (kW) pode ser obtida facilmente quando da leitura do consumo de energia indicado pelo medidor de kWh, quando todos os *consumidores essenciais*, com direito a suprimento de emergência, estiverem ligados, sob aplicação da carga, por uma hora. Todavia pode-se proceder também como no projeto de uma instalação nova.

Se os consumidores forem divididos em *essenciais* e *não essenciais*, deve-se considerar, já na etapa de projeto, que ambos os tipos de consumidores estarão conectados a barramentos separados.

12.1.2 – FATOR DE SIMULTANEIDADE

Este fator indica a percentagem do consumo total de energia instalada que estará em operação ao mesmo tempo. Em geral, não se pressupõe que todos os consumidores existentes estejam ligados simultaneamente. Com uma avaliação lógica do fator de simultaneidade, o grupo gerador Diesel pode ser dimensionado com potência menor do que a soma de todos os consumidores potenciais. Todavia a potência nominal do grupo gerador não deverá ser calculada muito abaixo da potência total requerida pelos consumidores, porque, após sua instalação, freqüentemente anexam-se outros novos consumidores. O fator de simultaneidade deve ser avaliado para cada projeto. Deve ser evitada a adoção de um fator muito baixo. Alguns valores práticos para o fator de simultaneidade:

Hospitais	0,4 a 0,8
Prédios administrativos	0,8 a 0,9
Grandes shoppings	0,9 a 1,0
Indústrias químicas	Até 1,0
Hotéis	Até 1,0

12.1.3 – FATOR DE POTÊNCIA

Um fator essencial para a determinação da potência do motor Diesel é a potência ativa absorvida pelos consumidores. O fator de potência (cosφ) indica a relação entre a potência ativa e a potência aparente.

O fator de potência é sempre determinado pelo tipo dos consumidores.

Assim, por exemplo, transformadores e motores elétricos representam um quinhão considerável da potência reativa indutiva, enquanto que lâmpadas incandescentes, aquecedores e outras cargas puramente resistivas, absorvem apenas potência ativa. A potência reativa capacitiva não é muito freqüente e, em geral, pode ser desprezada. Obtém-se a potência ativa (kW) multiplicando a potência aparente (KVA) pelo fator de potência (cosφ), como visto anteriormente. O fator de potência de um setor que consiste de vários consumidores distintos, pode ser determinado de maneira segura, estabelecendo-se a soma das potências ativas (kW) e a soma das potências aparentes (KVA). O resultado da divisão da soma dos kW pela soma dos KVA, é o fator de potência do setor considerado.

Com um fator de potência menor, a potência do motor Diesel poderá ser reduzida correspondentemente enquanto que com um fator de potência maior, esta deve ser elevada, o que será imprescindível levar em conta no projeto.

12.1.4 – TIPOS DE CARGA

Carga brusca significa a aplicação súbita de uma parte considerável da carga nominal ou ainda a aplicação temporária de sobrecarga.

A aplicação da carga ativa (kW) ocasiona uma queda temporária (dinâmica) da velocidade. Se isto não implicar em carga no motor Diesel além da sua potência máxima pré-ajustada de bloqueio, a velocidade subirá novamente até a velocidade nominal, dentro de um tempo de recuperação relativamente breve, dependendo das características do governador utilizado no motor Diesel.

Em caso de uma sobrecarga momentânea de potência ativa, pode ser eventualmente possível compensar o pico de potência por meio de um volante particularmente pesado do motor Diesel, não sendo portanto necessário um superdimensionamento do motor e alternador em função de sobrecargas temporárias.

Ao dimensionar o grupo gerador, também é preciso observar se os motores elétricos trifásicos de maior porte são ligados diretamente (partida direta) ou se por meio de dispositivos auxiliares de partida, como chave estrela/triângulo ou compensadora por auto-transformador (partida com tensão reduzida). Em caso de partida direta, a corrente de partida poderá superar em até 6 ou mais vezes a corrente nominal, dependendo da construção adotada. Neste caso o alternador pode estar sujeito a uma carga de corrente tão

elevada que a tensão atingirá a ruptura. Como conseqüência disto, os contactores e relés que compõem o sistema deixam de funcionar e o suprimento de energia é interrompido.

12.1.4.1 – PARTIDA DE MOTORES DE INDUÇÃO

Além da determinação da potência nominal, deve-se observar que a partida de motores assíncronos, sobretudo motores com rotor em curto-circuito, resulta em maiores correntes de partida, incrementadas com elevada percentagem de corrente reativa, que pode superar a 6 vezes a corrente nominal. As altas correntes de partida exigidas pelos motores de rotor em curto-circuito podem ser absorvidas por alternadores superdimensionados ou dotados de sistema especial de excitação.

É recomendável a ligação escalonada dos motores elétricos, iniciando pelos de maior potência.

Os motores elétricos são construídos obedecendo a normas, segundo o uso a que se destinam, que os padronizam conforme definições da NEMA ou da ABNT. (Deverá constar na plaqueta de identificação a letra correspondente ao seu padrão construtivo).

A NEMA define os códigos de letras conforme a tabela abaixo:

Letra Código	KVA que o motor necessita para partida direta (por KVA)
A	0,00 a 3,14
B	3,15 a 3,54
C	3,55 a 3,99
D	4,00 a 4,49
E	4,50 a 4,99
F	5,00 a 5,59
G	5,60 a 6,29
H	6,30 a 7,09
J	7,10 a 7,99
K	8,00 a 8,99
L	9,00 a 9,99
M	10,00 a 11,19
N	11,20 a 12,49
P	12,50 a 13,99
R	14,00 a 15,99
S	16,00 a 17,99
T	18,00 a 19,99
U	20,00 a 22,39
V	22,40

Para a ABNT, 5 códigos são definidos, conforme a tabela seguinte:

Letra Código	Corrente de partida direta (Motores com enrolamento tipo gaiola)	
A	ALTA	Até 6 x I_N
B	NORMAL	3,80 a 6,00 x I_N
C	NORMAL	3,80 a 6,00 x I_N
D	NORMAL	3,80 a 6,00 x I_N
F	BAIXA	Até 4 x I_N

É comum encontrarmos motores com corrente de partida igual a 7 ou 8 vezes a corrente nominal. Porém, para os motores de produção seriada, normalmente encontrados no mercado, a corrente de partida situa-se entre 5,5 e 7,00 vezes a corrente nominal. ($5,5 \times I_N < I_P < 7,00 \times I_N$). São quatro os métodos de partida utilizados no acionamento de motores elétricos de indução:

1) - Partida direta;
2) - Com chave estrela-triângulo;
3) - Com chave compensadora e
4) – Com chave estática "Soft Start"

Para o primeiro caso, a corrente de partida deverá ser calculada por uma das tabelas acima ou medida durante um ciclo de partida do motor. No segundo caso, a corrente de partida é reduzida para 1/3. Assim, se, por exemplo, a corrente de partida for de $6 \times I_N$, com o uso da chave estrela-triângulo ficará reduzida para $2 \times I_N$.
No terceiro caso, a corrente de partida depende do tipo de chave compensadora. Dois exemplos podem melhor esclarecer:

a) Com tape de 80%: a corrente será reduzida para 0,8 x 0,8 = 0,64 ou 64%
b) Com tape de 65%: a corrente será reduzida para 0,65 x 0,65 = 0,4225 ou 42,25%.

As chaves de partida de estado sólido fazem as mesmas funções de fornecer corrente reduzida durante o período de partida do motor elétrico, porém a corrente é controlada por meio de SCR's (retificadores controlados de silício). Quando for o caso, observar que a partida com estes dispositivos submete o alternador a uma carga não linear, deformante, que poderá introduzir distorções não suportadas por outros consumidores. Em geral, a redução da corrente de partida adotada é em torno de 50%.

Os motores para acionamento de máquinas centrífugas tais como, por exemplo, bombas e ventiladores, deverão ser projetados de tal forma que seu torque de partida ainda permaneça acima da curva de torque da máquina acionada, no caso de ligação direta ou estrela-triângulo, mesmo durante uma queda momentânea de tensão para 80% da tensão nominal.

Para o acionamento de máquinas alternativas, tais como bomba a pistão e compressores, como também agitadores, etc., será sempre necessário um dispositivo de alívio para o período de partida, porque essas máquinas requerem um torque elevado já no início da operação.

Rendimento dos motores elétricos trifásicos (η_M):		
Potência em kW	**Rendimento %**	
	A 1500 rpm	**A 3000 rpm**
0,5	76,0 até 80,0	76,0 até 79,0
1,5	82,5 até 83,0	81,5 até 88,0
5,0	86,5 até 87,0	85,5 até 89,0
15,0	86,5 até 87,0	89,5 até 89,0
50,0	90,0	89,6 até 91,0
100,0	91,0	90,5 até 91,0

Fórmulas de potência para motores elétricos trifásicos:

P (kW) = Potência disponível no eixo do motor;

P_w (kW) = Potência ativa tomada no terminal do motor;

P_a (KVA) = Potência aparente tomada no terminal do motor;

η_M (%) = Rendimento mecânico do motor a carga nominal;

E (V) = Tensão nominal do motor;

$\cos\varphi$ = Fator de potência com carga nominal e

I_N (A) = Corrente nominal do motor.

$$P = \frac{I_N . E . \sqrt{3} . \cos\varphi \eta_M}{1.000}$$

$$P_a = \frac{P}{\eta_M . \cos\varphi} \Leftrightarrow \frac{P_w}{\cos\varphi}$$

$$I_N = \frac{736 . P_{(CV)}}{\sqrt{3} . E . \cos\varphi . \eta_M}$$

$$I_N = \frac{1.000 . P_{(kW)}}{\sqrt{3} . E . \cos\varphi . \eta_M}$$

12.1.4.2 – INFLUÊNCIA EXERCIDA PELA LIGAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS SOBRE GRUPOS GERADORES

O fator de potência, cosφ, de motores elétricos trifásicos durante o período de partida pode ser adotado entre 0,4 até 0,6, a depender da carga. Disto resulta uma sobrecarga do motor Diesel situada acima da relação de correntes normalmente admitida, conforme abaixo:

Com $\cos\varphi$ = 0,6: (corrente de partida) ÷ (corrente nominal do alternador) ≤ 1,33

Com $\cos\varphi$ = 0,4: (corrente de partida) ÷ (corrente nominal do alternador) ≤ 2,0

Deve-se considerar como corrente nominal do grupo gerador aquela que corresponde à potência do alternador juntamente com o fator de potência tomado por base para seu projeto, correspondente à potência do motor Diesel. A corrente nominal do alternador poderá ser maior, por exemplo, no caso de alternador superdimensionado. A corrente nominal do alternador é essencial para a queda de tensão no caso de partida de motores elétricos trifásicos, ou seja, com alternador superdimensionado a queda de tensão pode ser mantida dentro de limites restritos.

Para grupos geradores sujeitos a uma carga inicial aplica-se também a relação de correntes de 1,33 ou 2,0 se à corrente inicial for adicionada a corrente de partida.

No caso de alternadores trifásicos, a corrente nominal pode ser ligada quando da partida de motores elétricos trifásicos, sem que haja uma queda de tensão superior a aproximadamente 18,0%. Aumentando-se a corrente de partida em mais 25% da corrente nominal do alternador, deve-se contar com mais uma queda de tensão da ordem de 4,0%. Isto significa que a um alternador em vazio podem ser ligados diretamente motores elétricos até uma ordem de grandeza de aproximadamente 20,0% da sua capacidade nominal sem que o motor Diesel sofra uma queda de velocidade anormal nem que haja queda de tensão transitória do alternador além de 20,0%, entre 0,1 e 0,5 segundo.

Quando se necessita partir motores cuja corrente de partida ultrapassa os limites das relações acima, é necessário estabelecer o limite de queda de tensão admissível pelos demais consumidores.

A queda de tensão que se verifica durante as partidas de motores elétricos depende também do tipo de excitação do alternador. Excitação dinâmica tem um tempo de resposta ligeiramente superior do que a excitação estática.

Em resumo, para um projeto normal de grupo gerador, a sua potência ativa não deverá exceder a potência máxima admissível do motor Diesel (levando-se em conta o rendimento do alternador). A corrente de partida de motores elétricos trifásicos não deverá (inclusive a carga inicial do alternador) ser superior a 1,2 vezes a corrente nominal do alternador.

Para efetuar um cálculo preciso da queda de tensão do alternador durante a partida de motores elétricos, utilize os valores de reatância do alternador, informados pelo fabricante, e aplique a fórmula:

$$\Delta_V = \frac{\frac{I_P}{I_G} \times \frac{X_d''}{100}}{1 + \left(\frac{I_P}{I_G} \times \frac{X_d''}{100}\right)} \therefore \Delta_V \leq 20\%$$

Onde:

Δ_V = Queda de tensão;

I_P = Corrente de Partida;

I_G = Corrente nominal do alternador e

Xd" = Reatância transitória do alternador.

12.1.5 – TIPOS DE CORRENTE – TENSÃO – FREQÜÊNCIA

Uma rede elétrica é caracterizada pela indicação do tipo de corrente, tensão e freqüência. Os grupos geradores Diesel adaptados às redes públicas de consumo, para que todos os consumidores possam ser supridos tanto pela rede como pelo grupo gerador.

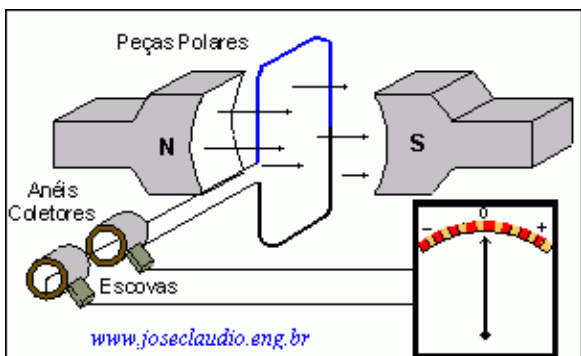
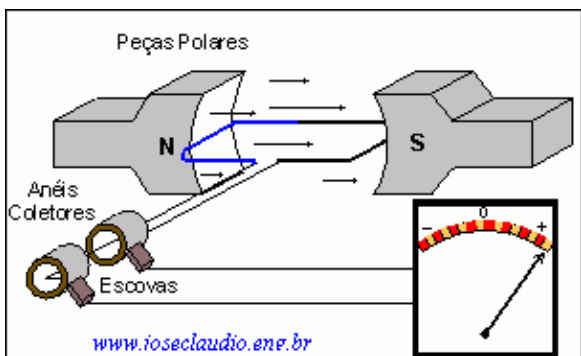
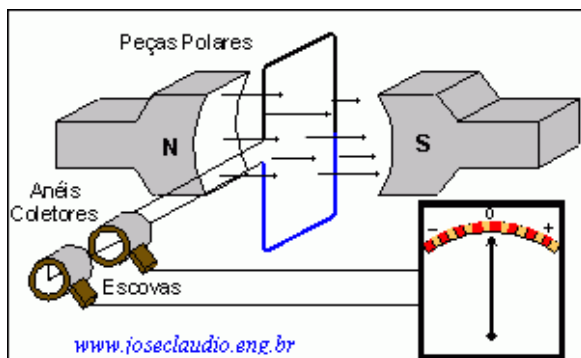
A tensão de 400 ou 231 V é a tensão de alimentação usual para consumidores de 380 ou 220 V. A sobretensão de 5% servirá para compensar as perdas de energia nas linhas. A corrente contínua, que não sendo considerada neste trabalho, será utilizada tão somente em casos especiais.

Todavia, o suprimento de corrente alternada trifásica é diferente nos diversos países do mundo. Na Europa Ocidental prevalecem redes de corrente trifásicas com 380 / 220 V e freqüência de 50 Hz, enquanto que na América do Norte o normal é 60 Hz. Muitos países da América do Sul utilizam 230 / 133 V e 60 Hz. Mas há ainda outras tensões e freqüências. O Brasil, até a década de 60, utilizava a freqüência de 50 Hz. Atualmente, embora a freqüência seja padronizada em 60 Hz, há regiões que utilizam a rede pública em 220 / 127 V e outras em 380 / 220 V, como Brasília, para citar um exemplo. A determinação de tensão e freqüência necessárias aos consumidores é, portanto, um fator imprescindível. Enquanto a tensão é importante apenas para o projeto do gerador, a velocidade de rotação do grupo, a ser escolhida, dependerá essencialmente da freqüência.

13 – ALTERNADOR

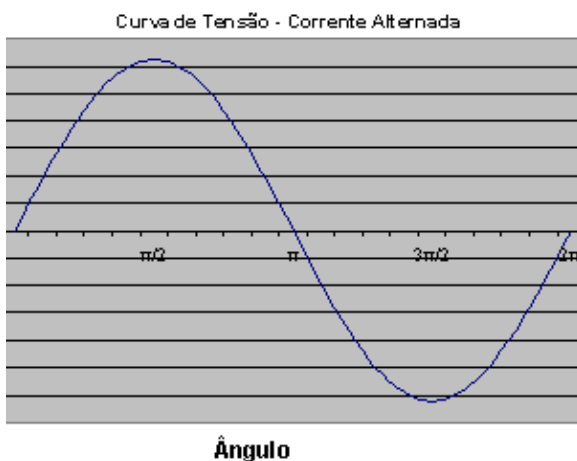
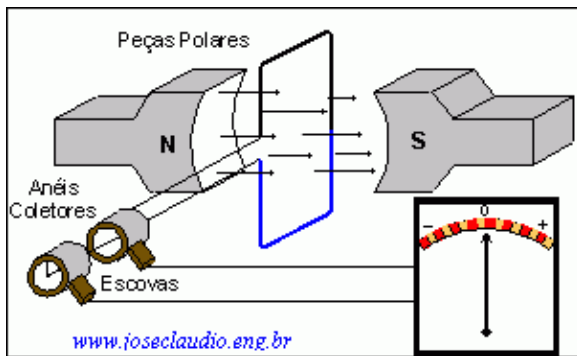
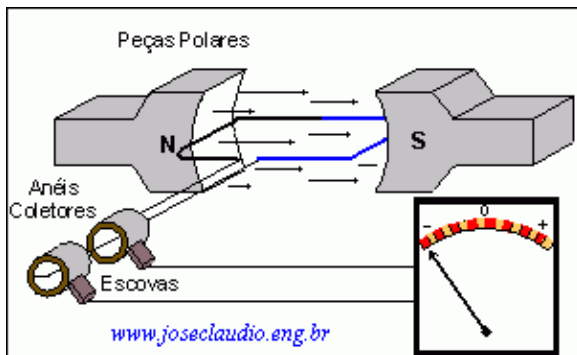
Denominamos *alternador* ao gerador de corrente alternada, assim como denominamos *dínamo* ao gerador de corrente contínua. Os geradores são máquinas destinadas a converter energia mecânica em energia elétrica. A transformação de energia nos geradores fundamenta-se no princípio físico conhecido como Lei de Lenz. Esta lei afirma que "*quando existe indução magnética, a direção da força eletromotriz induzida é tal, que o campo magnético dela resultante tende a parar o movimento que produz a força eletromotriz*."

Os alternadores pertencem à categoria das máquinas síncronas, isto é, máquinas cuja rotação é diretamente relacionada ao número de pólos magnéticos e a freqüência da força eletromotriz. Não há, basicamente, diferenças construtivas entre um alternador e um motor síncrono, podendo um substituir o outro sem prejuízo de desempenho. Assim, um alternador quando tem seu eixo acionado por um motor, produz energia elétrica nos terminais e, ao contrário, recebendo energia elétrica nos seus terminais, produz energia mecânica na ponta do eixo, com o mesmo rendimento.

A indução magnética ocorre sempre que há movimento relativo entre um condutor e um campo magnético. O gerador elementar, concebido por Michael Faraday em 1831, na Inglaterra e mais ou menos na mesma época por Joseph Henry, nos Estados Unidos, era constituído por uma espira que girava entre os pólos de um ímã, semelhante à figura:

GERADOR ELEMENTAR

Uma espira de fio girando em um campo magnético forma um gerador elementar, que é ligado ao circuito externo por meio dos anéis coletores.

Curva de Tensão - Corrente Alternada

Ângulo

SAÍDA DO GERADOR ELEMENTAR

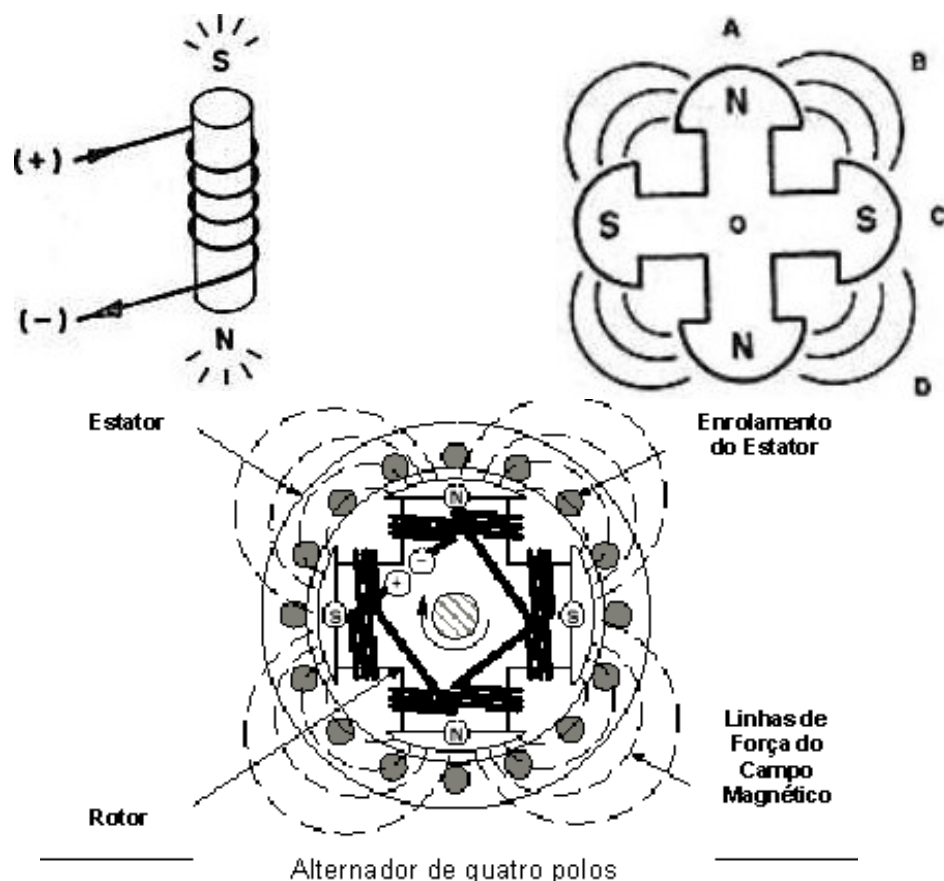
A força eletromotriz e a corrente de um gerador elementar mudam de direção cada vez que a espira gira 180°. A tensão de saída deste gerador é alternada. É um ALTERNADOR.

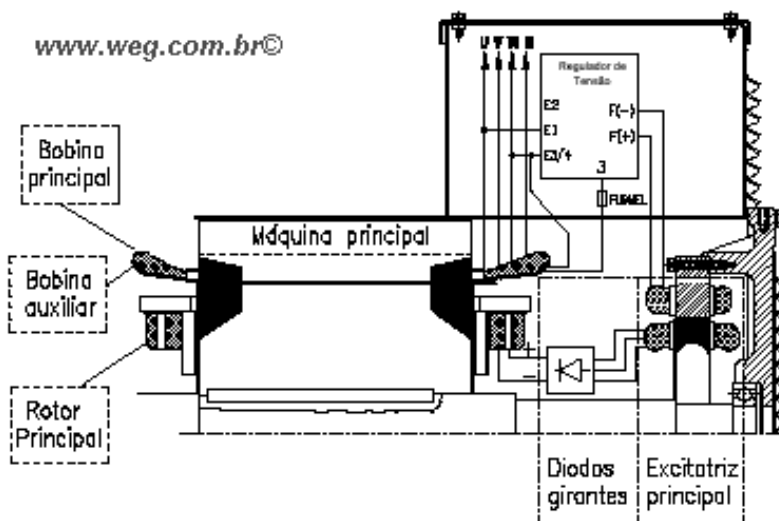
Faraday estabeleceu, ainda, que os valores instantâneos da força eletromotriz (ou tensão) podiam ser calculados pela relação:

$e = B \, . \, l \, . \, v. \, sen(\theta)$, em que:

> e = Força eletromotriz;
>
> B = Indução do Campo Magnético;
>
> l = Comprimento do condutor;
>
> v = Velocidade linear de deslocamento do condutor e
>
> θ = Ângulo formado entre B e v.

O campo magnético do gerador elementar era constituído por ímãs naturais. Para que seja possível controlar tensão e corrente em um alternador, o campo magnético é produzido por ímãs artificiais, formados por bobinas alimentadas com corrente contínua suprida por uma fonte externa e controlada por um regulador de tensão. A essa fonte de corrente contínua, denominamos *Excitatriz.*

Alternador de quatro polos

Com muitas espiras, um campo magnético controlado por meio de um dispositivo de excitação com corrente contínua, montados em arranjo conveniente, fabrica-se os alternadores comerciais utilizados nos grupos geradores, bem como os grandes alternadores das usinas hidroelétricas. Nas figuras, detalhes dos alternadores produzidos pela WEG.

Gerador Modelo GTA com Bobina Auxiliar (padrão)

www.weg.com.br©

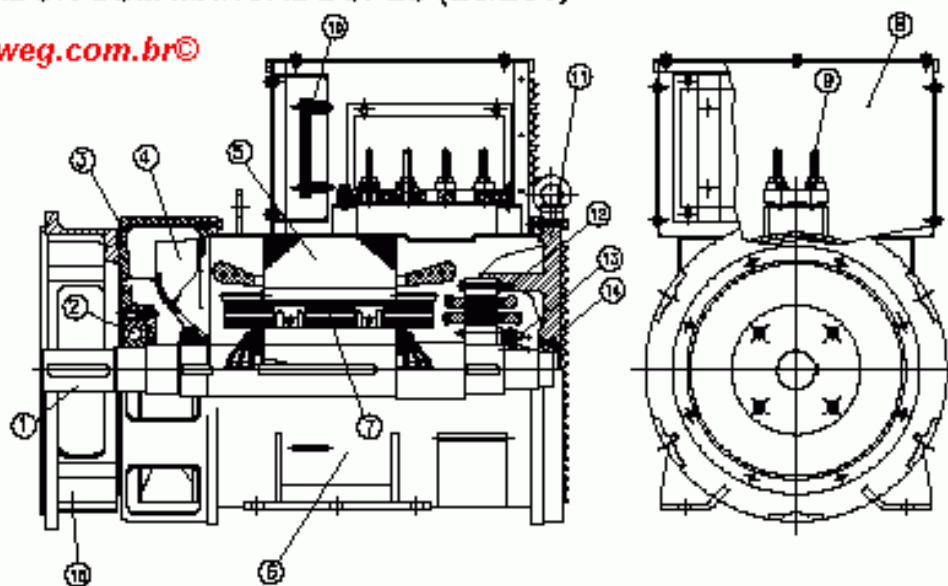
Bobina principal

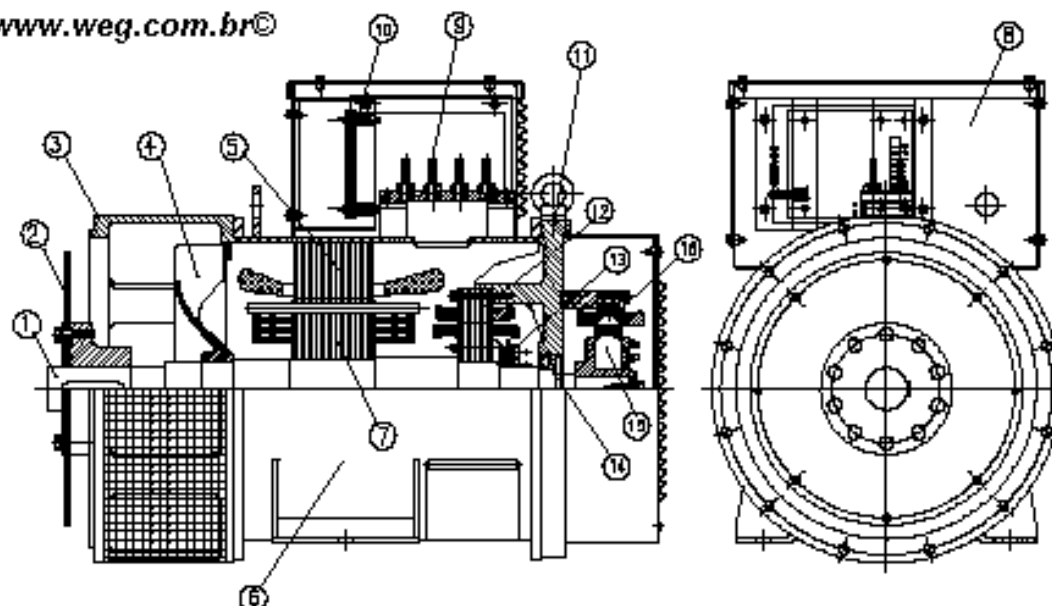
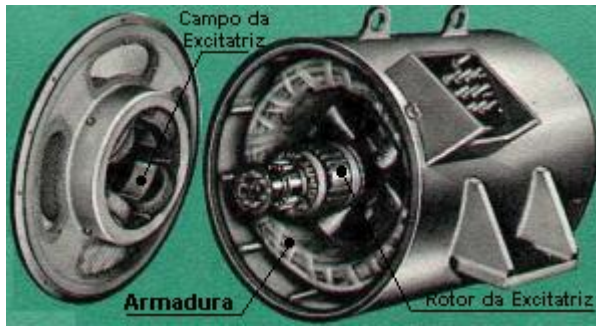
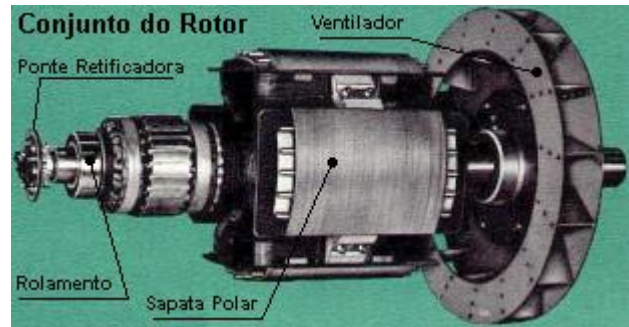
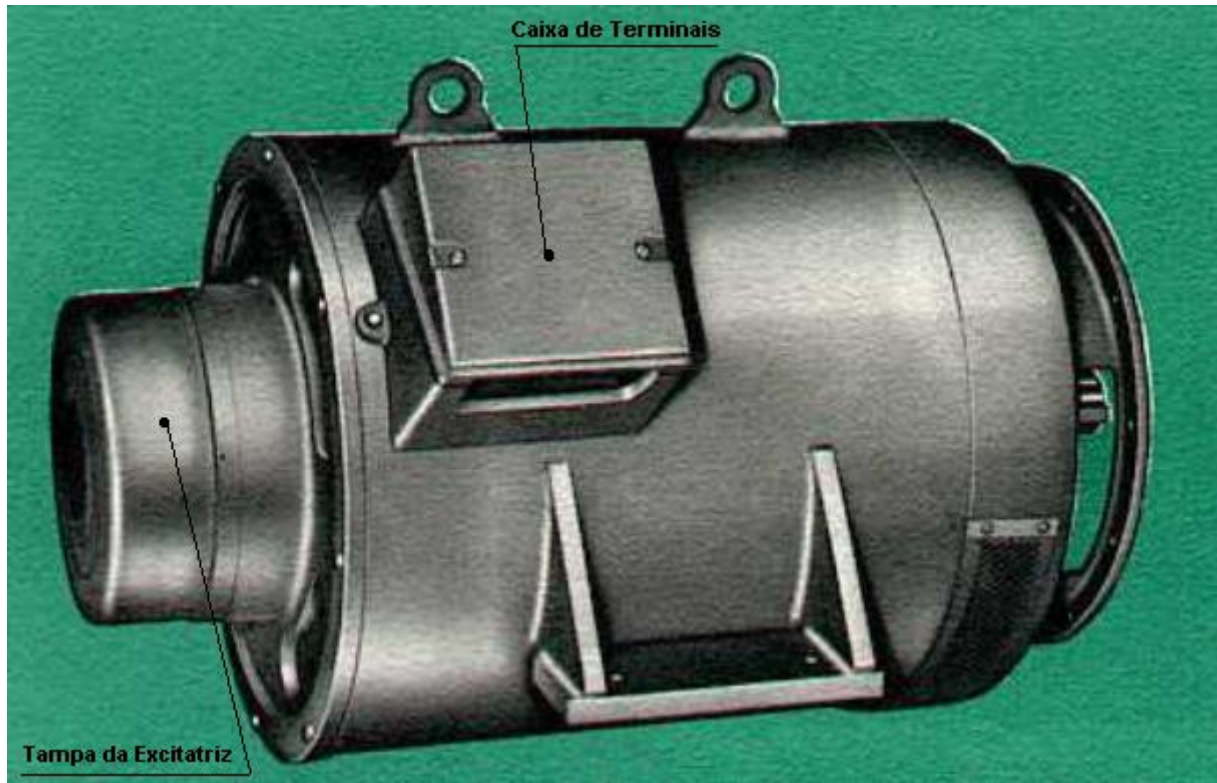
Bobina auxiliar

Rotor Principal

Máquina principal

Diodos girantes

Excitatriz principal

1. Eixo	5. Estator principal	9 . Placa de bornes	13. Conjunto de diodos
2. Rolamento dianteiro	6. Carcaça	10. Regulador de tensão	14. Rolamento traseiro
3. Tampa dianteira	7. Rotor principal	11. Tampa traseira	15. Flange
4. Ventilador	8. Caixa de ligação	12. Estator da excitatriz principal	

GERADOR COM MANCAL ÚNICO E EXCITATRIZ AUXILIAR (ESPECIAL)

1. Eixo	5. Estator principal	9 . Placa de bornes	13. Conjunto de diodos
2. Discos	6. Carcaça	10. Regulador de tensão	14. Rolamento traseiro
3. Flange	7. Rotor principal	11. Tampa traseira	15. Rotor da excitatriz auxiliar
4. Ventilador	8. Caixa de ligação	12. Estator da excitatriz principal	16. Estator da excitatriz auxiliar

Estator e tampa com bobinas de campo da excitariz. – Alternador NEGRINI

Rotor com ventilador , induzido da excitatriz e ponte retificadora na extremidade do eixo

Alternador **NEGRINI** tipo **ATE**

Mecanicamente, o alternador é constituído por duas partes principais: uma fixa, que é a carcaça, onde se encontram os pés de fixação, e a outra móvel (girante). A parte fixa chamamos ***estator*** e a parte móvel chamamos ***rotor***.

Eletricamente, também, são duas partes principais. Uma delas é responsável pelo campo magnético, onde estão localizados os pólos do alternador, que chamamos de ***campo*** (ou indutor). A outra parte é onde aparece a força eletromotriz, a qual chamamos de ***induzido***.

O posicionamento do *campo* e do *induzido* dão origem a dois tipos de máquinas diferentes. Quando o *campo* está localizado no *estator*, temos o que chamamos de **máquina de pólos fixos** (ou de pólos externos) e, ao contrário, quando o *campo* se encontra no *rotor*, temos o que chamamos de **máquina de pólos girantes** (ou de pólos internos). As máquinas de pólos fixos são pouco utilizadas devido ao inconveniente da necessidade de escovas para retirar a energia gerada. As máquinas de pólos girantes são as mais utilizados por permitirem a retirada da energia diretamente dos terminais das bobinas.

Segundo o tipo de aplicação, os alternadores são construídos com características especiais para atender os diversos segmentos a que se destinam, com diferenças de forma construtiva, isolação, refrigeração, acabamento e características elétricas conforme abaixo:

13.1 - APLICAÇÕES

Alternadores Industriais: São os chamados de "*máquinas de linha*", destinados a atender a maioria dos consumidores normais.

Alternadores Navais: São máquinas construídas para uso naval, com todos os componentes projetados e tratados para resistir à corrosão marinha.

Alternadores Marinizados: basicamente são alternadores industriais destinados a serviço em áreas agressivas, recebendo então um tratamento especial em alguns componentes.

Alternadores para Telecomunicações: São máquinas especiais, com características determinadas para não causar interferência nas telecomunicações e também para atender ao tipo de carga, que é bastante severa. Em geral, os alternadores destinados a atender equipamentos de telecomunicações alimentam retificadores de alta capacidade que produzem deformações da forma de onda da tensão gerada, o que é levado em consideração no projeto e na construção do alternador especial.

Alternadores a prova de explosão: Destinam-se ao serviço em áreas saturadas, principalmente petrolíferas e químicas, onde há risco de materiais inflamáveis, sendo totalmente blindados para impedir que qualquer centelhamento entre em contato com a atmosfera ambiente, tendo por isso um sistema de refrigeração especial, tipo trocador de calor, de modo que o ar existente no interior da máquina não é transmitido ao exterior.

13.2 – NUMERO DE FASES

Pode-se ainda distinguir os alternadores segundo o numero de fases, que, no caso presente, são:

Alternadores monofásicos: São aqueles que possuem as bobinas do enrolamento induzido de tal forma que a tensão de saída é obtida em dois pontos terminais.

Alternadores trifásicos: Possuem três grupos independentes de bobinas, montadas defasadas em 120° entre si, sendo ligadas de tal maneira que podemos ter três ou quatro pontos de ligação para os consumidores. Em geral, cada grupo independente de bobinas tem duas bobinas separadas, para permitir que, com o fechamento das ligações externas, se obtenha valores diferentes de tensão, como veremos adiante. O tipo de fechamento normalmente utilizado é o "***estrela com neutro acessível***", onde existe um ponto de ligação para cada fase mais um ponto denominado "***neutro***", que é constituído pelo fechamento das extremidades das bobinas. A tensão entre os três pontos terminais de cada fase é sempre a mesma, que deve corresponder ao tipo de fechamento escolhido. A tensão medida entre cada fase e o neutro é menor, sendo, numericamente, igual ao valor da tensão entre fases dividida pela raiz quadrada de 3. O neutro é para ser ligado ao aterramento da instalação elétrica local.

No sistema trifásico ligado a carga equilibrada não deve haver circulação de corrente pelo condutor *neutro*, o que na prática resulta muito difícil, razão pela qual, os alternadores chamados industriais são construídos para suportar um desequilíbrio de carga entre fases máximo de 15%, valor que não deve ser excedido, pois além de provocar funcionamento irregular e diferenças de tensão entre fases, pode danificar o alternador.

13.3 – LIMITAÇÕES

O que limita a potência do alternador é a temperatura alcançada pelo enrolamento do induzido. Por isso, são máquinas que sofrem perdas por aquecimento, que pode resultar da temperatura ambiente ou da altitude. Os alternadores de linha normal de produção são fabricados para operar com temperatura ambiente máxima de 40°C e altitude de 1.000 m acima do nível do mar. Para serviço em condições mais adversas, é necessário corrigir para menos a potência do alternador.

13.4 – CONCEITOS BÁSICOS SOBRE CORRENTE ALTERNADA

Como visto no gerador elementar, diz-se que a corrente é alternada quando muda de valor em função da posição das espiras em relação ao campo magnético. Fisicamente, essas mudanças de valores instantâneos ocorrem segundo a lei de Faraday, matematicamente definida como veremos em seguida.

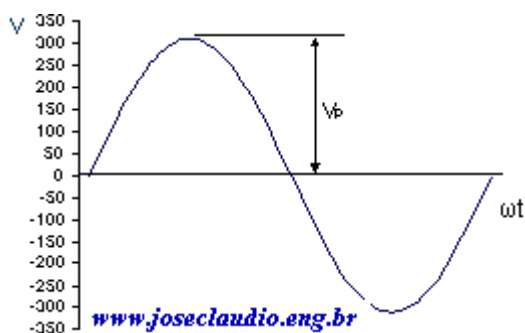
Sendo a posição relativa da espira uma função de velocidade e tempo, podemos substituir ***θ*** por **ωt** e ***B. l. v*** por $\mathbf{V_p}$ na equação definida para a lei de Faraday e estabelecer que um alternador produz corrente elétrica cujos valores instantâneos obedecem a uma forma senoidal de onda determinada pelas seguintes equações:

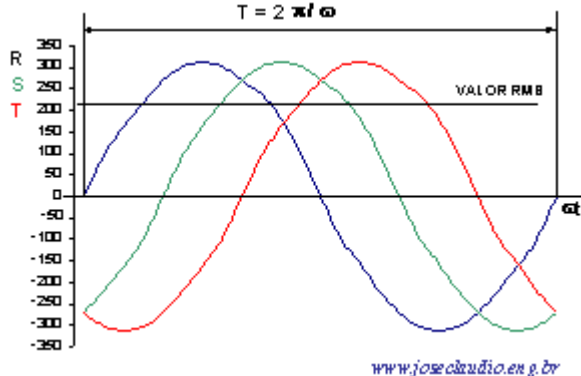
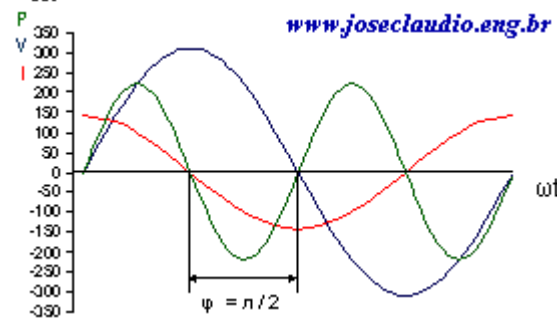
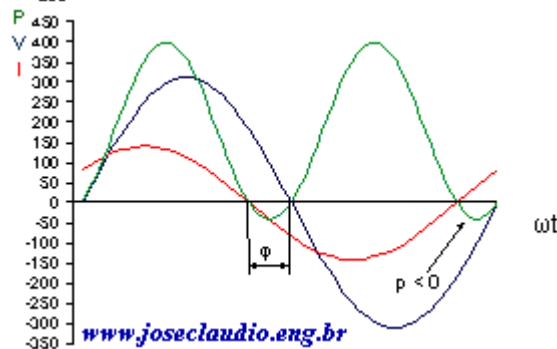
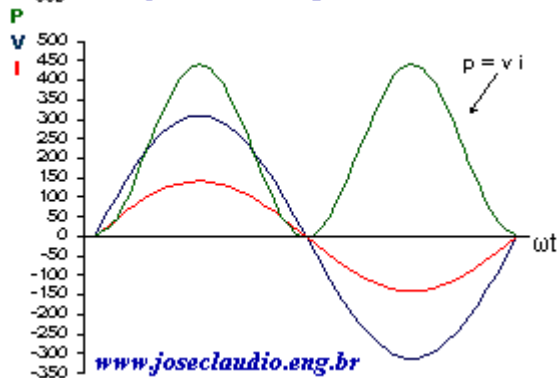
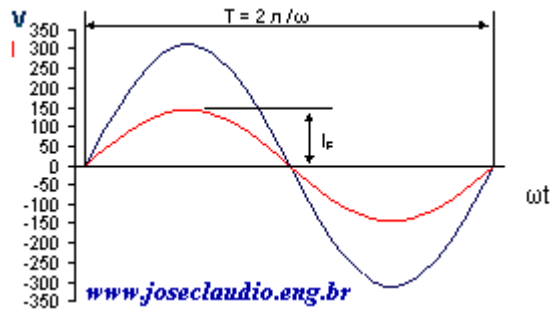
Corrente: $\mathbf{i = I_p\ sen(\omega t)}$

Tensão: $\mathbf{v = V_p\ sen(\omega\ t + \varphi)}$

e a potência instantânea – $\mathbf{p = v\ i}$

O ângulo **φ,** conhecido como *ângulo de fase*, varia em função dos consumidores alimentados pelo alternador. É, portanto, uma característica das cargas e seus valores se revestem de grande importância no dimensionamento dos componentes dos circuitos alimentados, bem como sua correção pode se tornar necessária, para evitar cobrança adicional pela concessionária de energia, quando se verifica valores de ***cosφ*** abaixo do limite contratual.

Nas figuras a seguir, uma visão dos valores instantâneos.

Legenda:

v = Tensão instantânea
i = Corrente instantânea
$\mathbf{V_p}$ = Tensão de pico
$\mathbf{I_p}$ = Corrente de pico
f = Freqüência
ω = Freqüência angular (= 2 л f)
t = Tempo
φ = Ângulo de fase
T = Período (= 2 л / **ω** = 1 / f)

Potência Instantânea:

p = v i

Quando a corrente percorre um circuito de resistência pura, a corrente se mantém em fase com a tensão e o ângulo de fase é zero (**φ = 0**). Todos os valores de potência são positivos (**p > 0**).

Quando a corrente percorre um circuito com carga indutiva ou capacitiva, há uma defasagem da corrente em relação à tensão e (φ > 0). Neste caso, surge potência instantânea negativa. Quanto maior o ângulo de fase, maior o valor negativo instantâneo.

Para o valor do ângulo de fase igual a 90°, as somas das potências instantâneas se anulam e a potência média é zero. Embora com os mesmos valores de tensão e corrente circulando, não há utilização de energia.

Tensão trifásica.

No mesmo período, os valores de tensão variam defasados de 120° nas fases R, S e T (ou U, V e W).

Valor eficaz:

É o valor da potência média, equivalente ao valor de corrente contínua que aplicada ao circuito, produz a mesma quantidade de calor.

Sendo ***R*** a resistência do circuito, é calculado pela fórmula: $P = (1/T)\int_{T}^{0} i^2 R dt$ que uma vez resolvida, dá os resultados: $I_e = I_p / \sqrt{2}$ e $V_e = V_p / \sqrt{2}$ conhecidos como valores RMS (de Root Mean Square).

Os valores RMS são os que são lidos nos instrumentos de medição. (Note que tais instrumentos indicam valores RMS de grandezas que se comportam de forma senoidal ao longo do tempo. Para medição de grandezas com outras formas de onda, são necessários instrumentos TRUE RMS).

13.4.1 – TENSÃO, POTÊNCIA E FREQÜÊNCIA NO ALTERNADOR

Nos sistemas trifásicos, a tensão entre fases é determinada pelas ligações de fechamento que forem executadas. Normalmente os alternadores são fornecidos com 12 terminais de bobinas do induzido para serem ligados de forma a gerar tensão em 220/127 V, 380/220 V ou 440/254 V. A tensão entre fase e neutro é o quociente da divisão da tensão entre fases pela raiz quadrada de 3. Os diferentes valores possíveis de tensão são o resultado do arranjo das bobinas, que são construídas em grupos, resultando para cada fase um conjunto de 2 bobinas que podem ser ligadas como se vê nas figuras seguintes:

FECHAMENTO EM ESTRELA

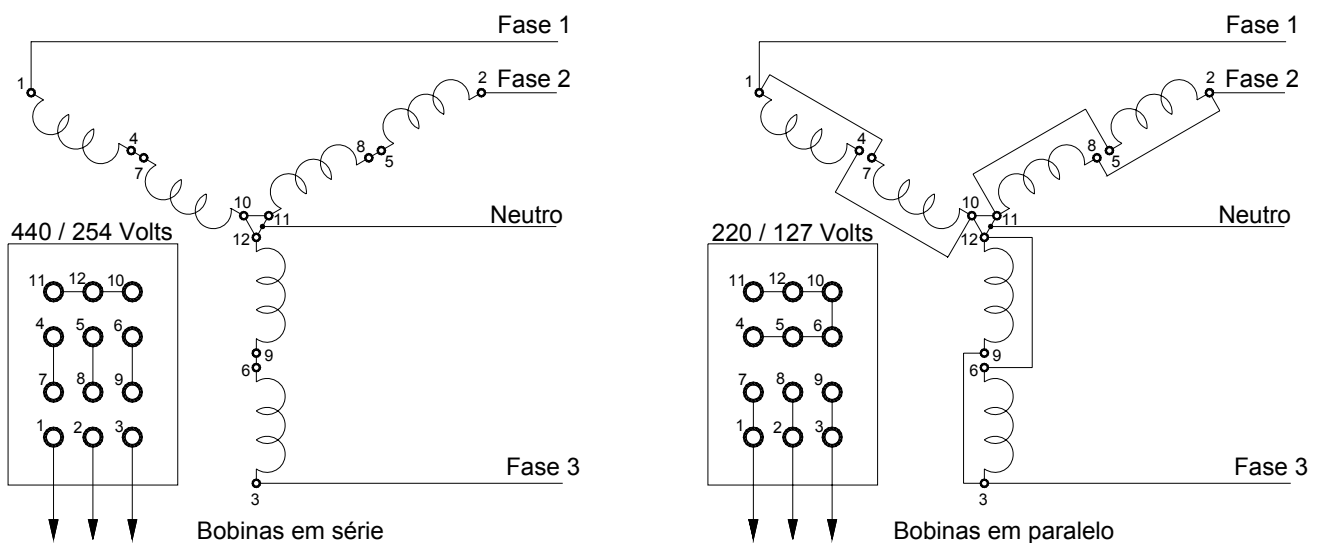
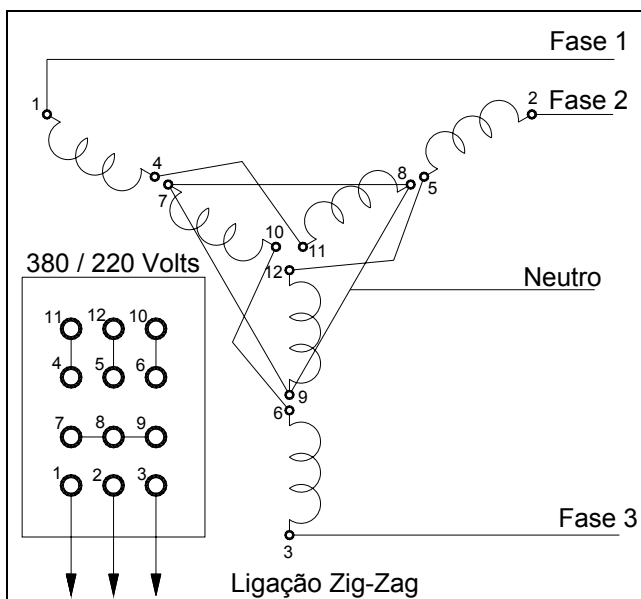
Fase 1

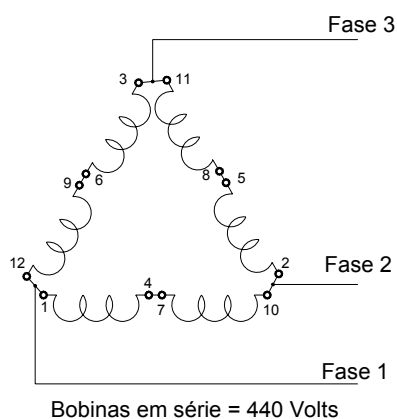
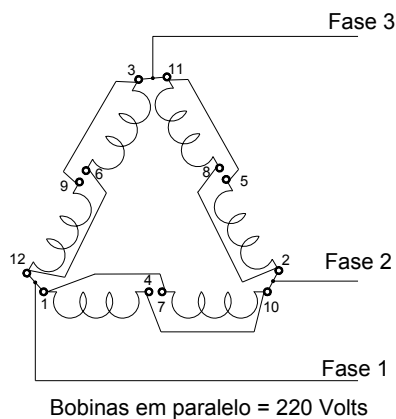
Fase 2

Neutro

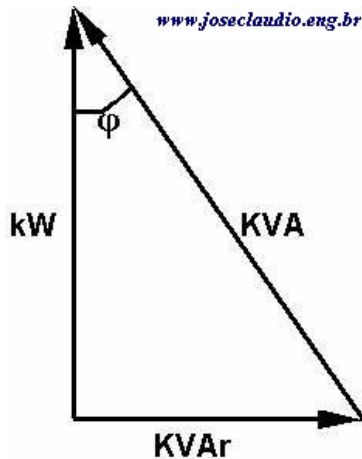
220 / 127 Volts

Fase 3

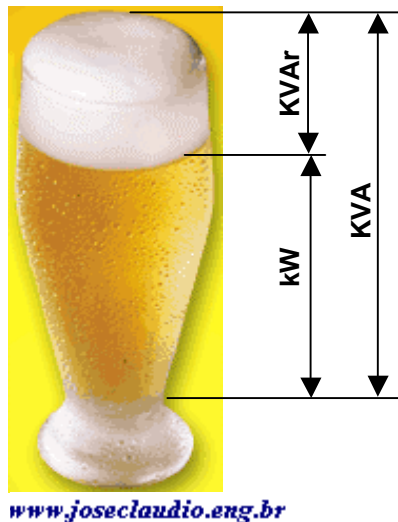
Bobinas em paralelo

Observar que a numeração das extremidades das bobinas se faz em espiral, de fora para dentro, em sentido horário, de forma que os números 1 e 4, assim como 2 e 5 são extremidades da mesma bobina. O arranjo da numeração na caixa de terminais que utiliza barras de ligação é feito iniciando pelo número 11 no canto superior esquerdo, terminando com o número 3, no canto inferior direito. Em geral, há outros terminais na caixa, para ligação dos circuitos de excitação. Existem alternadores que apresentam 10 pontas ao invés de 12. Neste caso, os pontos 10, 11 e 12 já estão fechados internamente e o alternador não permite a ligação 380/220 V. Se for necessário utilizar 380/220 V, duas soluções podem ser adotadas: a) – utilizar o fechamento de 440/220 V e regular a tensão para 380 V no regulador de tensão ou b) – abrir a ligação interna das pontas 10, 11 e 12 e alterar o fechamento para o esquema acima. Na maioria dos casos de mudança de tensão, é necessário substituir o voltímetro do quadro de comando, caso este não seja multitensão. As ligações do freqüencímetro e do regulador de tensão podem ser remanejadas para pontos onde exista a tensão compatível, conforme o caso.

FECHAMENTO EM TRIÂNGULO OU DELTA

13.4.2 – POTÊNCIA DO ALTERNADOR

Vimos no capítulo 4 que a potência do alternador é definida em KVA (potência aparente) e que a potência ativa é definida em kW, sendo o fator de potência (cosφ) a relação entre as potências ativa e aparente e que **kW = cosφ . KVA**. Vimos ainda que existe a potência reativa, que surge nos circuitos elétricos com cargas indutivas, especialmente motores elétricos.

Na realidade, a potência aparente (KVA) é a soma vetorial das potências ativa (kW) e reativa (KVAr). No triângulo de potências abaixo, pode-se visualizar as relações que existem entre as três potências:

Das relações geométricas do triângulo retângulo, sabemos que:

$$(KVA)^2 = (kW)^2 + (KVAr)^2$$ e que

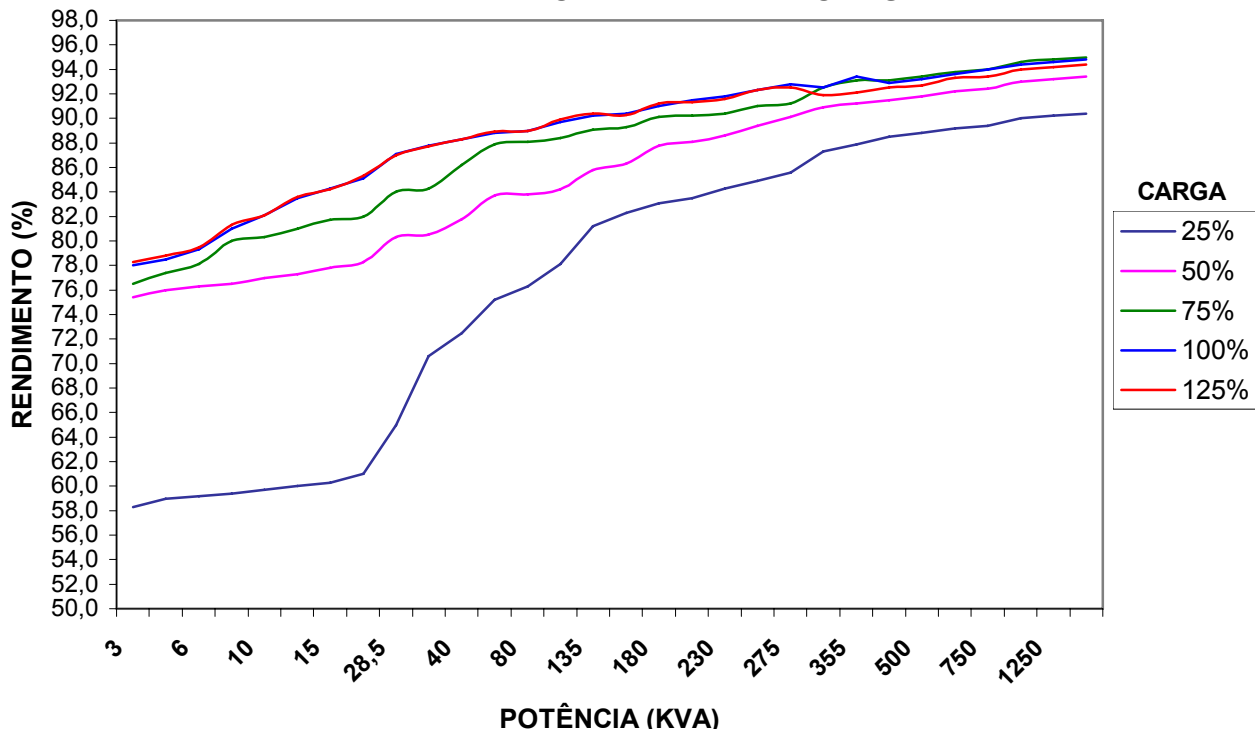
$\cos\varphi = (kW) \div (KVA)$. É fácil perceber que, mantendo-se constante o valor de (*kW*), quanto maior for o valor de (*KVAr*), menor será cosφ e maior será (*KVA*). Por isso o fator de potência é universalmente denominado cosφ. Se estabelecêssemos uma comparação com um copo de chope, teríamos algo semelhante à figura:

A potência ativa (*kW*), a exemplo do que foi visto no capítulo sobre partida de motores elétricos, é calculada, para circuitos trifásicos com cargas equilibradas, conhecidos os valores de tensão (***E***), corrente (***I***) e fator de potência (cosφ), pela relação:

$$P_{(KW)} = \frac{E.I.\sqrt{3}.\cos\varphi}{1.000}$$

13.4.2.1 - RENDIMENTO MECÂNICO DO ALTERNADOR

O Rendimento do Alternador é definido em termos percentuais pela relação entre a potência elétrica por ele fornecida aos consumidores e a potência mecânica absorvida do motor acionador. É sempre menor que 1.

$$\eta = \frac{kW_{(Elét.)}}{kW_{(Mec)}}$$

O rendimento do alternador (h) não é constante e se aproxima do seu valor máximo com a carga entre 80 e 100% da potência máxima. Alternadores pequenos tem rendimento mais baixo do que os alternadores maiores (até 0,93 acima de 250 KVA). Deve ser informado pelo fabricante para cálculos mais seguros. Quando se tratar de cálculos estimativos, pode ser tomado igual 90% (ou 0,9), que é o valor adotado pelos montadores de grupos geradores, em geral.

13.4.3 – FREQÜÊNCIA

$$f = \frac{N.N_p}{120}$$

Como dissemos anteriormente, o alternador é uma máquina síncrona e que sua velocidade de rotação e freqüência estão relacionadas com o número de pólos. Sendo f = freqüência (em Hz); N = velocidade de rotação (em rpm) e N_p = número de pólos, temos que:

Assim, um alternador de 60 Hz que trabalha a 1800 rpm, tem:

60 = (1.800 x N_p) ÷ 120 ⇔ N_p = 4 pólos. Analogamente, um alternador de 6 pólos, para gerar tensão em 60 Hz, precisa girar a: 60 = (N x 6) ÷ 120 ⇔ N = 1.200 rpm. Um alternador especial para aeroportos, que necessita gerar tensão na freqüência de 400 Hz trabalhando a 2000 rpm, necessita de: 400 = (2000 x N_p) ÷ 120 ⇔ N_p = 24 pólos.

13.5 – EXCITAÇÃO

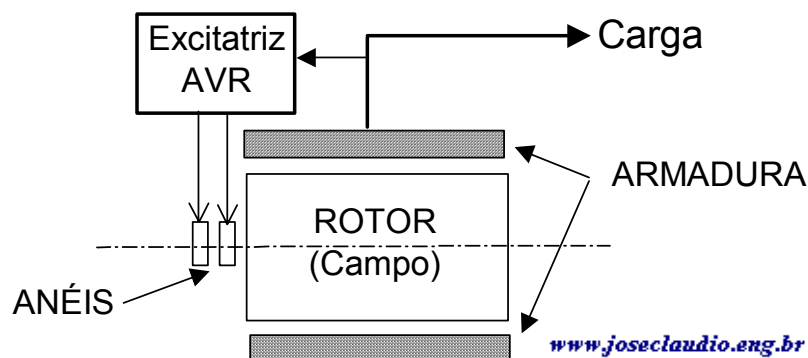
Como visto anteriormente, para induzir a força eletromotriz necessitamos de um circuito magnético – o campo do alternador. Em máquinas de pequeno porte podemos formar o

campo por meio de ímãs permanentes naturais, mas normalmente isto é feito por meios eletromagnéticos, ao alimentar as bobinas que constituem os pólos, com corrente contínua. Isto se denomina *excitar* a máquina, por meio de uma fonte de corrente contínua denominada *excitatriz*.

Para manter constante a tensão de saída do alternador, é necessário regular o sistema de excitação, pois é a intensidade do campo magnético quem determina este valor. Portanto, necessitamos de um regulador de tensão, que é o elemento capaz de "sentir" as variações de tensão de saída do alternador e atuar diretamente na excitatriz para que esta aumente ou diminua o fluxo de corrente no campo magnético, mantendo constante a tensão para qualquer solicitação de carga.

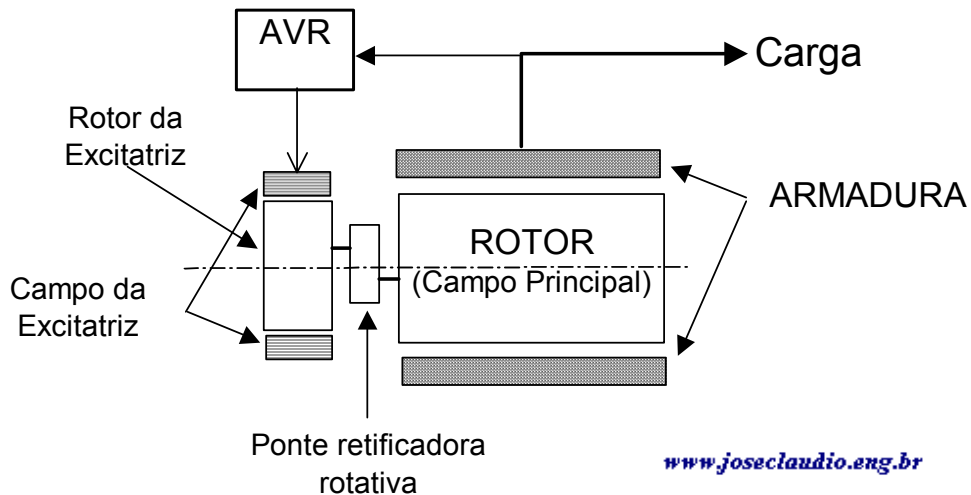
Quanto à forma construtiva, duas são as configurações básicas para o sistema de excitação do alternador; EXCITAÇÃO DINÂMICA e EXCITAÇÃO ESTÁTICA. O primeiro, denominado excitação dinâmica, é montado no próprio eixo do alternador. O segundo, denominado excitação estática, é constituído por um retificador de corrente que utiliza a própria energia gerada pelo alternador para alimentar o campo com corrente retificada. Um circuito eletrônico acoplado ao retificador faz a função de regulador de tensão, abrindo ou fechando o "gate" de um tiristor.

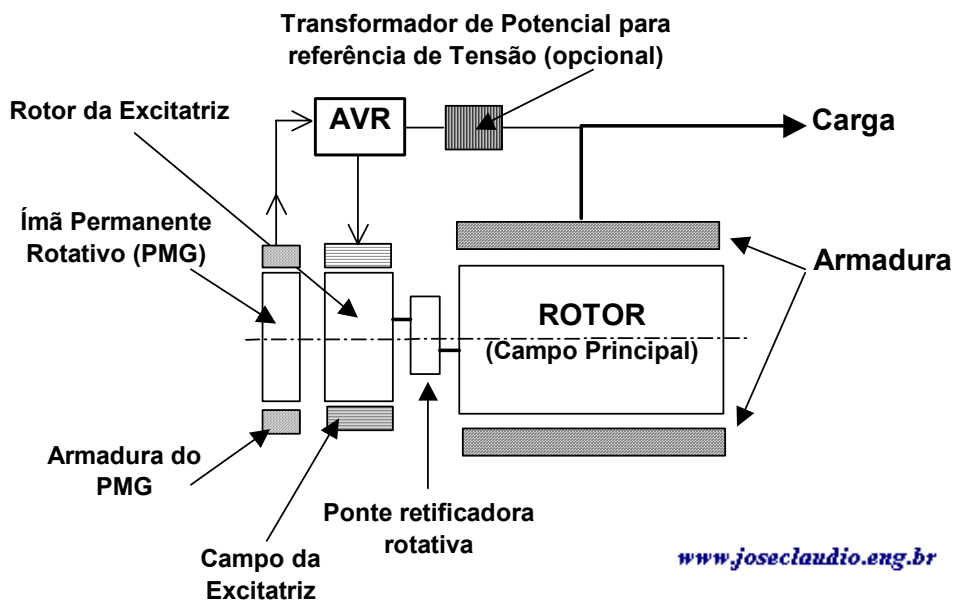
EXCITAÇÃO ESTÁTICA:

No sistema de excitação estática, a corrente que alimenta o campo do alternador é retificada e controlada por uma excitatriz eletrônica. A condução da corrente se faz por meio de um par de anéis com escovas montado no eixo do alternador. Como utiliza a tensão gerada pelo alternador, necessita de um mínimo de tensão inicial, gerada pelo magnetismo remanente do alternador durante a partida, para iniciar o processo de retificação e alimentação do campo. Este processo de início de geração é denominado escorva do alternador.

O sistema de excitação estática tem resposta de regulação mais rápida do que o sistema de excitação dinâmica, uma vez que o regulador atua diretamente no campo do alternador, o que lhe proporciona maior capacidade de partir motores elétricos de indução. Entretanto, como o fluxo de corrente é controlado por pulsos dos tiristores, introduz deformações na forma de onda da tensão gerada, o que o torna contra-indicado para alternadores que alimentam equipamentos sensíveis.

EXCITAÇÃO BRUSHLESS:

No sistema de excitação dinâmica utiliza-se um gerador de corrente contínua, montado no próprio eixo do alternador. O campo deste gerador é alimentado por um regulador externo

que, modernamente, é eletrônico semelhante ao empregado na excitação estática. Nos alternadores antigos este gerador de corrente contínua era um dínamo, com escovas e coletor de lâminas de cobre. Atualmente utiliza-se um pequeno alternador de pólos fixos, cuja corrente alternada gerada no induzido rotativo é retificada por uma ponte retificadora de onda completa, também girante, que transfere a corrente retificada diretamente ao campo do alternador, sem a necessidade de escovas. Este sistema é denominado “Brushless” e é largamente utilizado.

EXCITAÇÃO POR ÍMÃ PERMANENTE:

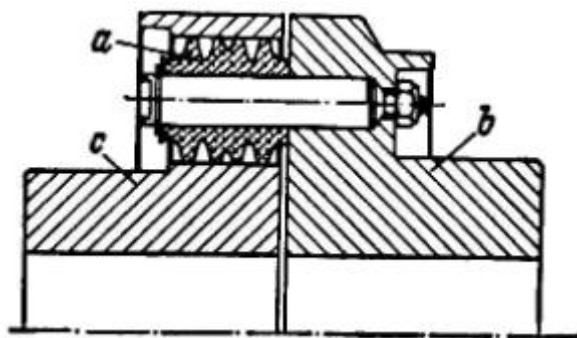
Sistema de excitação por magneto (ou imã) permanente, também conhecido por excitação PMG, abreviatura da denominação em inglês de Permanent Magnet Generator. Trata-se de um sistema de excitação onde uma excitatriz auxiliar, constituída por um campo magnético constante produzido por uma peça magnetizada antes da montagem, a qual funciona como indutor girando no interior de um enrolamento fixo, este trabalhando como induzido. Esquematicamente, tal sistema pode-se representar da seguinte forma:

Neste tipo de alternador, a energia fornecida ao campo da excitatriz (campo fixo) é proveniente do PMG e independe da energia fornecida à carga. Constitui-se, portanto, num sistema de excitação independente. Os valores de tensão nos terminais do alternador que

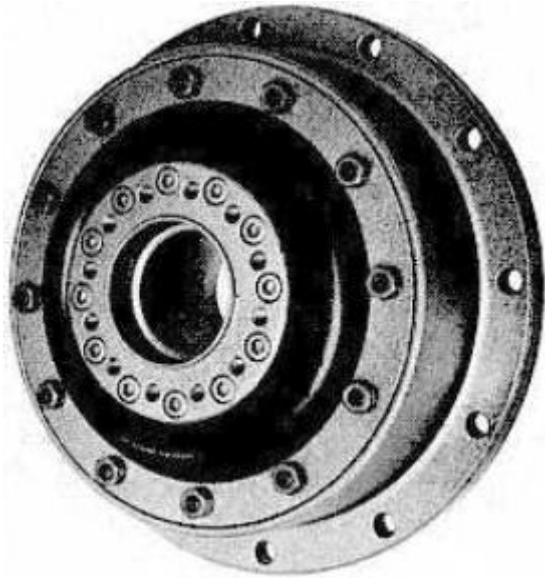
alimentam a carga, são usados apenas como referência, opcionalmente através de um transformador de potencial, podendo ser monitorados em duas ou três fases, também opcionalmente, em função do projeto adotado pelo fabricante.

O regulador automático de tensão (identificado acima como AVR – abreviatura de Automatic Voltage Regulator) difere do regulador de tensão utilizado num alternador convencional, auto-excitado, na medida em que não supre o campo da excitatriz com a mesma energia que alimenta os consumidores. Isto é particularmente vantajoso nas aplicações onde o alternador aciona grandes motores elétricos porque possibilita a manutenção de valores elevados de corrente durante a partida destes motores, sem as grandes quedas de tensão que se verificam nos alternadores que não utilizam excitação independente. Também oferecem melhor desempenho do alternador quando alimentando cargas não lineares, tais como motores de corrente contínua alimentados por tiristores, motores de corrente alternada com chaves de partida "Soft Start" ou sistemas UPS (Uninterruptible Power Supply) também conhecidos como "No Breaks" estáticos. É a opção desejável para todos os casos onde se requer melhor qualidade da energia gerada.

O regulador de tensão (AVR) compara a tensão de saída do alternador com o padrão ajustado no potenciômetro de ajuste de tensão e efetua as correções atuando no campo da excitatriz.

14 – ACOPLAMENTO

A ligação entre os eixos do alternador e do motor Diesel se faz por meio de um acoplamento elástico capaz de absorver pequenos desalinhamentos radiais e axiais, bem como as vibrações provenientes das variações de carga e do desbalanceamento admitido das massa girantes. O alinhamento dos centros dos eixos é essencial para o bom funcionamento do equipamento, na medida em que não introduza vibrações e desgaste prematuro dos rolamentos do alternador e dos mancais do motor Diesel. Existem muitos tipos de acoplamentos disponíveis no mercado destinados à montagem de alternadores em motores Diesel. O mais freqüentemente encontrado é o tipo Elco, por ser de menor custo e montagem simples, é constituído por 6, 8 ou 12 mangas de borracha sobre pinos de aço instalados numa das metades do acoplamento, que se encaixam em furos existentes na segunda metade.

Acoplamento Elco.

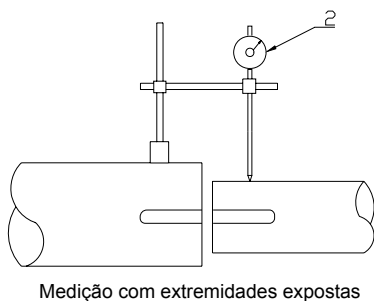
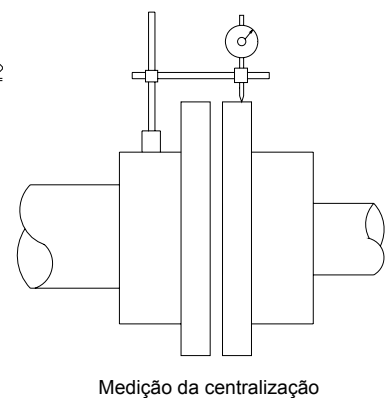
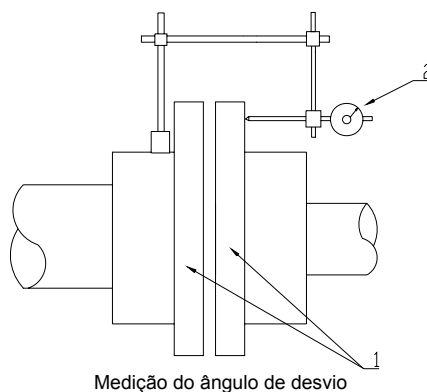
Na peça ***b*** existem os pinos com mangas de borracha ***a*** que se encaixam nos furos existentes na peça ***c***. Geralmente a peça ***b*** é aparafusada ao volante do motor Diesel enquanto a peça ***c*** é montada por meio de chaveta no eixo do alternador. A folga recomendada entre as peças ***b*** e ***c*** é de 4,0 mm, para que esforços axiais não sejam transmitidos à árvore de manivelas do motor.

Acoplamento elástico.

Em virtude da grande elasticidade dos elementos flexíveis, os acoplamentos elásticos proporcionam boa absorção das irregularidades de montagem, nivelando grandes diferenças de alinhamento radial, axial e angular e são isentos de manutenção. A fixação rígida dos elementos flexíveis pelas partes metálicas do acoplamento e das partes metálicas deste com os conjuntos agregados, elimina todo e qualquer atrito causador de folgas e desgaste, evitando assim ajustes periódicos.

Os alternadores modernos são dotados de carcaça padrão SAE, que permite montagem monobloco, garantindo a manutenção do alinhamento entre os eixos das máquinas após a montagem. Entretanto, na primeira montagem é necessário conferir a concentricidade dos eixos em relação às suas respectivas carcaças, com um microcomparador, para se assegurar de que não haverá desalinhamento.

Nas montagens diretas, sem carcaças padronizadas, o alinhamento necessita ser feito criteriosamente e conferido após a fixação definitiva das máquinas.

Embora os acoplamentos elásticos permitam desvios relativos, é todavia aconselhável procurar obter o máximo alinhamento possível. Isto prolongará a vida útil do acoplamento. As medições de alinhamento se fazem como nas figuras abaixo e os valores das tolerâncias deverão ser informados pelo fabricante do acoplamento.

14.1 – ALINHAMENTO

Ao montar um acoplamento, é necessário certificar-se de que o mesmo não interfere na folga axial da árvore de manivelas do motor Diesel. Os acoplamentos de duas metades separadas estabelecem uma distância a ser mantida entre as faces das duas metades após

a montagem, que precisa ser observada. As extremidades dos eixos das máquinas necessitam guardar alguma distância entre si, para não interferir com a folga axial.

O conjunto motor-alternador é montado sobre uma base metálica rígida, construída com perfilados laminados de aço ou chapa dobrada, capaz de suportar o funcionamento do motor Diesel sem sofrer deformações, assegurando o posicionamento das máquinas de forma a permitir livre acesso aos componentes para manutenção e deve dispor de um ponto de ligação ao aterramento geral da subestação local.

Quando a montagem é do tipo monobloco, o conjunto motor-gerador é assentado sobre coxins de borracha. Neste caso, uma ligação de aterramento entre o conjunto e a base deve ser prevista.

15 – COMPONENTES DE SUPERVISÃO E CONTROLE

Os grupos Diesel/geradores, trabalham sem a supervisão constante dos operadores, fornecendo energia elétrica aos consumidores e automaticamente corrigindo a tensão e a freqüência fornecidas. A pressão do óleo lubrificante, a temperatura da água de refrigeração sendo reguladas pelas válvulas reguladora de pressão e termostática, como visto anteriormente. Se ocorrer uma deficiência de funcionamento nos sistemas de lubrificação ou de refrigeração, o motor Diesel poderá sofrer sérias avarias antes que seja possível uma intervenção do operador. Para prevenir estas falhas, os motores Diesel para aplicação em grupos geradores são dotados de sistemas de proteção, que, dependendo das especificações do cliente, incluem:

a) **– Pressostato do óleo lubrificante:** tem a finalidade comandar a parada do motor Diesel quando a pressão do óleo lubrificante cai abaixo de um valor predeterminado. Em algumas aplicações, utilizam-se dois pressostatos (ou sensores de pressão) sendo um para alarme, quando a pressão do óleo atinge determinado valor e o outro para comandar a parada, calibrado para um valor imediatamente abaixo;

b) **– Termostato para a água de refrigeração:** com função idêntica à acima, também, em algumas aplicações, são utilizados dois sensores, para atuarem quando a temperatura do meio refrigerante ultrapassa valores predeterminados;

c) **– Sensor de sobrevelocidade:** para comandar a parada do motor Diesel quando a velocidade de rotação ultrapassa valores predeterminados, (geralmente 20% acima da rotação nominal). Em algumas aplicações, onde há o risco de aspiração de gases inflamáveis, o sensor de sobrevelocidade é interligado a um dispositivo de corte do ar de admissão, para parar o motor por abafamento, além do corte de combustível.

d) **– Sensor de nível do líquido de refrigeração:** na maioria dos casos utilizado para acionar um dispositivo de alarme, indicando a necessidade de completar o nível do sistema de refrigeração;

e) **– Relé taquimétrico:** tem a finalidade de desligar o motor de partida quando a rotação do motor Diesel ultrapassa determinado valor, em geral 500 rpm. Em muitos casos, esta função é também inerente ao sensor de sobrevelocidade, quando este permite o controle de mais que uma faixa de operação. Este dispositivo impede acionar o motor de partida com o motor funcionando;

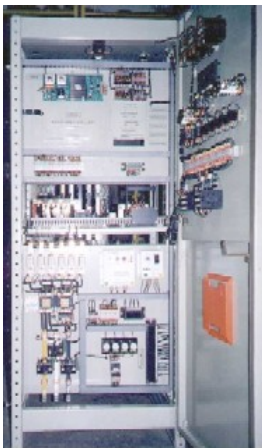
f) **– Sensor de ruptura da correia:** Em algumas aplicações, é exigido que a parada do motor Diesel seja comandada antes da temperatura da água se elevar, no caso de ruptura da correia da bomba d'água;

g) – Sensor de freqüência: pode ser utilizado para supervisionar tanto a freqüência do grupo gerador quanto da rede local. Nos grupos geradores equipados com sistema de partida automática, comanda o desligamento da rede local e aciona a partida automática do grupo gerador, ou vice-versa, comanda a parada do grupo gerador e transfere a carga para a rede local quando há anormalidade na freqüência do alternador;

h) – Sensores de tensão da rede e do grupo: atuam como no caso dos sensores de freqüência, comandando a partida e parada, conforme o caso.

i) – Outros sensores: a pedido do cliente, outros sensores podem ser adicionados ao sistema, tais como nível do tanque de combustível, presença de água no filtro de combustível, filtro de ar obstruído, sobrecarga no alternador, bateria com deficiência de carga, pressão do sistema de arrefecimento, temperatura do óleo lubrificante, etc. os quais podem funções de alarme visual ou sonoro, no local ou a distância ou outras funções especificadas pelo usuário.

j) – Painel local de instrumentos: para avaliar a performance do motor Diesel, um painel de instrumentos dotado de manômetro para o óleo lubrificante, termômetro para o sistema de refrigeração, chave de partida, comando de parada manual, indicador de carga de bateria e outros instrumentos tais como voltímetro e amperímetro para a bateria, tacômetro, termômetro para o óleo lubrificante e horímetro, conforme o caso, é instalado junto ao motor Diesel. Em algumas aplicações, componentes do governador eletrônico de rotações são também instalados no painel local.

k) – Quadro de comando:

abriga os componentes elétricos afetos ao alternador, rede local e às cargas, conforme o caso. Normalmente é dotado de uma chave seccionadora com fusíveis ou disjuntor para a entrada dos cabos provenientes do alternador, voltímetro, freqüencímetro, amperímetros, chave seletora de voltímetro (para selecionar as fases cujas tensões se quer medir), regulador automático de tensão do alternador e demais componentes elétricos, tais como partida automática, sensores de tensão e freqüência, chaves de transferência automática de carga, interface para comunicação e transmissão de dados, carregador/flutuador de baterias, voltímetro e amperímetro do sistema de excitação ou outros instrumentos, conforme requerido para a aplicação.

Nos grupos geradores de emergência, dotados de sistema de partida automática para assumir a carga em caso de falha da rede local, o motor Diesel está equipado com um sistema de pré-aquecimento, constituído por um resistor imerso numa derivação do circuito de refrigeração (geralmente de 2 a 4 kW, dependendo do porte do grupo gerador), para que a água seja mantida em temperatura acima da ambiente e próxima da de trabalho. A temperatura é controlada por um ou dois termostatos, que ligam ou desligam a corrente que alimenta o resistor, segundo valores pré-ajustados. Isto auxilia no sentido de possibilitar que o grupo gerador seja acionado e assuma a carga em 10 a 15 segundos após a ausência da energia da rede local.

O circuito do sistema de pré-aquecimento deve ser ligado ao motor de tal forma que o aquecimento provoque termo-sifão, fazendo a tomada de água fria em um ponto mais baixo que a conexão de saída da água aquecida.

Nas regiões frias, um sistema semelhante é instalado no circuito de lubrificação para manter aquecido também o óleo lubrificante. Quando for necessário utilizar pré aquecimento do óleo lubrificante, efetuar as trocas de óleo em períodos reduzidos.

Dispositivos de pré-lubrificação também são empregados em motores aplicados a grupos geradores de emergência. Existem aqueles que funcionam em conjunto com o motor de partida, fazendo circular óleo lubrificante sob pressão durante o tempo em que o motor está sendo acionado, e outros, constituídos por uma bomba acionada por motor elétrico, que são ligados durante um certo tempo em intervalos determinados, como, por exemplo, 5 minutos a cada 4 horas. O objetivo é fazer com que o motor receba lubrificação adequada durante o ciclo de partida, prevenindo o desgaste prematuro por insuficiência de lubrificação.

Em ambientes úmidos, é recomendável instalar resistores na armadura do alternador, para desumidificação dos enrolamentos e evitar redução da resistência de isolação.

Há situações em que resistores de desumidificação são instalados também no interior do quadro de comando, conforme necessidade.

16 – INSTALAÇÃO

Na maioria dos casos, não há necessidade de fundações especiais para suportar o grupo gerador. Entretanto, em qualquer situação, é necessário avaliar o peso do conjunto e as freqüências envolvidas, para verificar a necessidade de reforço adicional para o piso ou estruturas. Por exemplo, para a instalação do equipamento sobre a laje de um pavimento elevado de um prédio, esses valores devem ser considerados pelo calculista da edificação.

Uma maneira prática de avaliar a resistência das fundações para suportar o peso, isolar vibrações e assegurar o alinhamento do conjunto é calculando a espessura da base de concreto armado, necessária para o equipamento, considerando que o peso da base deve ser igual ao peso do Grupo Gerador: ***e = P / (2500 . l . c)***.

Onde:

> ***e*** = espessura da base de concreto (m);
>
> ***P*** = Peso total do grupo gerador (kg);
>
> ***2500*** = Densidade do concreto (kg/m^3);
>
> ***l*** = largura da base (m) e
>
> ***c*** = Comprimento da base (m).

Os valores de ***l*** e de ***c*** devem ser os da base do grupo gerador acrescidos de 12,0” (30 cm) para cada lado.

Se o grupo gerador utiliza amortecedores de vibração (Vibra-Stop, por exemplo), considerar o peso da base igual ao do grupo gerador. (Multiplicar pela unidade o valor de ***e*** encontrado). Multiplicar o valor de ***e*** calculado por 1,25, quando não utilizar amortecedores de vibração, e por 2 quando se tratar de grupos geradores que operam em paralelo.

A ferragem para a armação do concreto pode ser feita com uma malha trançada de vergalhões com espaçamento de 3,00”.

A base metálica do grupo gerador deve ser conectada ao sistema de aterramento geral da subestação local.

Em algumas instalações, o neutro da rede local é separado do aterramento da instalação. Neste caso, conectar o neutro do alternador ao neutro da rede e o terra da base ao aterramento geral.

Tratando-se de instalação em que o grupo gerador é a única fonte de energia, um sistema de aterramento deve ser construído caso existam consumidores que demandem energia com tensão entre fase e neutro do alternador.

Observar que as cargas que serão alimentadas pelo grupo gerador devem estar distribuídas entre as fase do alternador de modo que não resulte desequilíbrio superior a 15%.

Os cabos elétricos para interligação do alternador ao quadro de comando e deste aos consumidores, devem ser dimensionados obedecendo às recomendações das normas técnicas aplicáveis. Sobrecarga em cabos elétricos produz aquecimento dos mesmos, com conseqüente risco de danos ao isolamento e possibilidade de curto-circuito.

Outros cuidados principais de instalação dizem respeito às vibrações, ao nível de ruído, sistema de combustível, circulação de ar e exaustão dos gases de escape.

16.1 – VIBRAÇÕES

Um motor Diesel de quatro tempos e 6 cilindros, por exemplo, trabalhando a 1800 rpm, terá 3 tempos motor a cada volta completa da árvore de manivelas. Estes impulsos, para efeito de cálculos de freqüência, são chamados *excitadores principais,* e sua freqüência é $\Omega_x = 3 \times 1.800 \times (2\pi / 60)$. A freqüência natural ou própria do sistema (ω_e) é uma composição de harmônicos e subharmônicos resultante dos movimentos das massas. Quando ocorre a igualdade das freqüências dos excitadores principais com a freqüência natural ($\Omega_x = \omega_e$), acontece o que se conhece como *ressonância,* com todas as manifestações perigosas que costumam acompanhá-la. A velocidade em que $\Omega_x = \omega_e$ é conhecida como ***velocidade crítica***. Nos grupos geradores modernos, esta velocidade está abaixo de 1000 rpm.

Para evitar que vibrações indesejáveis sejam transmitidas às edificações, entre a base e o piso de apoio são utilizados amortecedores de borracha ou de molas, que devem ser adquiridos juntamente com o equipamento, pois, no caso de molas, estas são calculadas pelo fabricante em função de peso e freqüência de trabalho.

É possível que, em determinadas aplicações, seja necessário conhecer a freqüência natural de algum componente do ambiente da instalação, para saber dos riscos de ressonância com a freqüência dos excitadores principais do grupo gerador.

Havendo necessidade de estudos mais profundos, pode-se solicitar ao fabricante do motor, mediante pagamento, um cálculo de vibrações torsionais para um determinado acoplamento.

Há casos em que o grupo gerador foi fabricado sob encomenda e o acoplamento empregado foi objeto de estudo e cálculo de vibrações torsionais, como, por exemplo, um grupo gerador de uso naval classificado. Quando for este o caso, a substituição do acoplamento, se necessária, somente deverá ser feita por outro idêntico.

16.2 – NÍVEIS DE RUÍDO

São quatro as fontes de ruídos no grupo Diesel-gerador:

a) **– Ruídos mecânicos:** Nas variações rápidas de pressão as freqüências próprias são levadas ao encontro da velocidade de deformação dos componentes sujeitos a essas pressões. Os excitadores mais importantes são as engrenagens de distribuição dos movimentos, as válvulas e seus mecanismos de acionamento, os êmbolos, a bomba injetora, os mancais da árvore de manivelas (ao suportar oscilações críticas), a

reverberação da base e de pontos de contato e, ainda, as provenientes da forças de inércia livres do acionamento da árvore de manivelas, que excitam as partes do motor ou são transmitidas à base ou chassis.

b) **– Ruídos da combustão:** são causados pelo rápido aumento da pressão na câmara de combustão ou vibrações de pressão provocadas por combustão anômala (batidas, etc.). A freqüência é de 0,5 até 2,5 kHz no primeiro caso ou 5 até 10 kHz no segundo. Estes ruídos se tornam mais desagradáveis quando os ruídos mecânicos são atenuados.

c) **– Ruídos por variação de carga:** são provocados pela pulsação do fluxo no sistema de sucção e de descarga. Os amortecedores de ruído não oferecem muita resistência ao fluxo contínuo mas amortecem os picos das pulsações. O filtro de ar amortece os pulsos da admissão e o silencioso de escape amortece os pulsos da descarga dos gases. As restrições máximas admissíveis são de ≈ 200 mm de coluna d'água para o filtro de ar e de ≈ 1.500 mm de coluna d'água para o silencioso de escape (motores de aspiração natural). O silencioso deve ter volume de 4 a 6 vezes a cilindrada do motor. Para motores turbo-alimentados a restrição máxima da descarga não deve ultrapassar 400 mm de coluna d'água.

d) **– Ruído dos ventiladores ou ventoinhas:** o ventilador do alternador, aliado ao movimento do rotor, bem como o ventilador do radiador do motor Diesel e, ainda, nos motores turbo-alimentados, o ruído dos rotores do turbo-alimentador, que se aguçam com o aumento da carga.

O nível de ruído, a sete metros de distância do grupo gerador, chega a 95 dB. Os recursos disponíveis para amortecimento desses ruídos são poucos, dada a dificuldade de se lidar com uma gama de freqüências e intensidade variadas. A solução mais adotada é o enclausuramento do equipamento em container com as paredes revestidas com material atenuador, o que possibilita uma redução do nível de ruído para até 75 dB. Esta providência implica no dimensionamento adequado das passagens para o fluxo de ar de alimentação do motor Diesel e para a refrigeração do radiador e do alternador, para não incorrer em perda de potência ou possibilidade de superaquecimento.

Quando a aplicação assim o exigir, podem ser adquiridos grupos geradores silenciados, montados em containeres com tratamento acústico para níveis de ruído abaixo de 75 dB.

A regulamentação quanto a níveis de ruído em áreas urbanas é da competência das prefeituras locais que, na maioria das cidades brasileiras, adotam o que estabelece a norma ABNT NBR10151 – Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade.

16.3 – TANQUE DE COMBUSTÍVEL

Deve ter indicador externo de nível, tubo de respiro para equilíbrio da pressão interna com a atmosfera, boca de enchimento com tampa, separador de água e borra com dispositivo de drenagem total, pescador com filtro de tela com a admissão posicionada 50 mm acima da parte mais baixa do fundo, conexão para retorno de combustível e capacidade adequada ao consumo do motor Diesel. Pode ser construído em chapa de aço, P V C, alumínio, fibra de vidro, ou aço inoxidável, conforme as necessidades do cliente. Usualmente, utilizam-se tanques de chapa de aço carbono soldada. Neste caso, recomenda-se o tratamento da chapa com decapagem e pintura externa epóxi, preferencialmente. Não pintar o tanque internamente. Para a preservação das superfícies internas contra corrosão, a melhor prática é manter as paredes tratadas com óleo impermeável à água, enquanto o tanque não estiver em serviço.

É recomendável ainda que o tanque tenha uma escotilha ou tampa de visita que permita sua limpeza interna.

O respiro deve ser feito de forma que impeça a penetração de água e evite o risco de incêndio quando o tanque estiver muito cheio.

Para evitar faíscas provocadas por eletricidade estática, a conexão de enchimento e o tanque de combustível devem ser aterrados.

Em instalações com vários motores, o sistema de combustível deve ser dividido pelo menos em dois grupos independentes, para evitar que uma tubulação com defeito afete o funcionamento de todos os motores.

Para a ligação do tanque de combustível ao filtro no motor Diesel, deve-se evitar a utilização de tubos galvanizados, dada à possibilidade de desprendimento, ao longo do tempo, de partículas metálicas. Os diâmetros dos tubos, em função de comprimento e número de curvas, devem atender às recomendações do fabricante do motor quanto à vazão e pressão de combustível.

A conexão entre a tubulação e o filtro de combustível junto ao motor deve ser flexível, preferencialmente por mangueira com conexão giratória, o mais reta possível para evitar estrangulamento.

Sempre que possível deve-se instalar um filtro separador de água na linha de alimentação de combustível, entre o tanque e a bomba, o qual deve ser drenado diariamente. Este filtro não substitui o que é necessário manter na entrada da bomba injetora.

A pressão estática do combustível em relação à bomba injetora também deve atender às recomendações do fabricante do motor. Para os motores Cummins equipados com bomba PT, por exemplo, o nível máximo do tanque não pode ultrapassar a altura dos cabeçotes do motor, pois há risco de inundação dos cilindros com o combustível de retorno, quando o motor estiver parado, com graves riscos de acidente na ocasião da próxima partida. Em situações onde, obrigatoriamente, o tanque necessita ser colocado em posição mais alta, é necessário instalar um tanque auxiliar com sistema de bóia para amortecimento da pressão estática. Por outro lado, quando o tanque tem que ficar numa posição muito abaixo, é necessário prever um sistema de bombeamento auxiliar para o combustível.

A capacidade do tanque de combustível deve ser dimensionada em função do consumo específico do motor e da autonomia que se pretende, em horas de funcionamento a plena carga. Para efeito deste cálculo, podemos considerar um consumo específico médio de 170 g/CV.h e calcular a quantidade necessária de combustível por hora de operação do grupo gerador.

Exemplo:

Dimensionar um tanque de combustível para 6 horas de operação de um grupo gerador de 200 KVA.

CV = (1,0878 x KVA) $/\eta$ (vide 3.1). *Se tomarmos* η *= 0,9 teremos CV = (1,0878 x 200)* $/0,9$ *<=> CV = 241,73 e o consumo de combustível = 241,73 x 170 <=> consumo = 41.084,10 g ou 41,08 kg. Como 1 litro de óleo Diesel pesa 0,85 kg, o consumo em litros será de 41,08* $/0,85$ *= 48,33 litros / hora. Para 6 horas, a capacidade do tanque será de 48,33 x 6 = 289,98 ou, em números redondos, 300 litros.*

As mudanças de temperatura diárias favorecem a condensação de água no tanque de óleo Diesel. Para minimizar os riscos de contaminação, é necessário manter o tanque cheio

quando o motor estiver parado. Diariamente, antes de dar a primeira partida, é necessário drenar a água que se acumula no fundo do tanque.

Existem bactérias que proliferam no óleo Diesel, formando depósitos pastosos esbranquiçados, que podem obstruir o filtro. A ocorrência de colônias dessas bactérias é mais freqüente em grupos geradores de emergência, que permanecem parados por longos períodos sem que o óleo do tanque seja renovado. Quando for o caso, é conveniente utilizar um filtro magnético, na linha de alimentação.

16.4 – CIRCULAÇÃO DE AR

Motores Diesel para grupos geradores refrigerados por radiador utilizam ventilador tipo *soprante*, ao contrário dos motores utilizados em outras aplicações, com o objetivo de retirar o calor irradiado para o ambiente ao mesmo tempo em que retira o calor acumulado na água de refrigeração. O alternador trabalha com um ventilador *aspirante* montado no próprio eixo, para retirar calor das bobinas, transferindo-o ao ambiente. Além disso, o motor necessita de ar limpo e fresco para o seu bom funcionamento.

O ar que passa através da colméia do radiador não deve retornar. A recirculação do ar aquecido produz perda de rendimento do motor e elevação da temperatura da água de refrigeração. Quando houver risco de recirculação de ar quente no ambiente, a saída do radiador pode ser canalizada para o exterior, por meio de um duto, cuja interligação com o radiador deve ser flexível (usualmente de lona), com área interna pelo menos 1,3 vezes a área da colméia do radiador.

As entradas de ar não devem restringir o fluxo. Quando for necessário instalar o grupo gerador em ambiente fechado, deve-se prover meios de circulação de ar sem queda de pressão superior a 2,0” (50 mm) de coluna d’água. Algumas vezes se verifica a necessidade de ventilação forçada. O fluxo de ar necessário varia em função da potência e demais características do equipamento e deve ser informado pelo fabricante.

O radiador utilizado em motores destinados a grupos geradores, assim como o ventilador, é projetado para uma capacidade 30% superior as necessidades do motor, prevendo que o calor irradiado para o ambiente será removido pelo ar circulante.

Muitos fabricantes de motores Diesel disponibilizam ventiladores diferentes em diâmetro e número de pás, para atender necessidades específicas inerentes à instalações especiais.

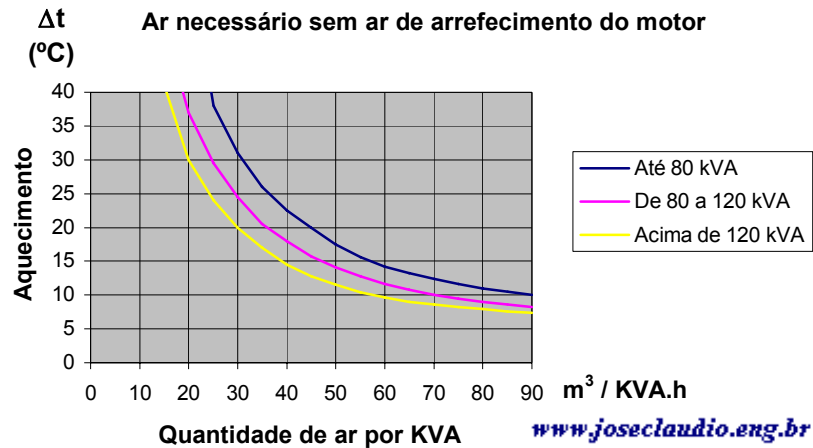
A montagem do ventilador, segundo recomendações dos fabricantes, deve ser feita em um defletor de ar direcionada à colméia do radiador, de forma que, para os ventiladores de pressão (soprante), 2/3 da pá fiquem *fora* do defletor, para captar o ar. Para os ventiladores de sucção (aspirante), 2/3 da pá devem ficar *dentro* do defletor, ao contrário dos ventiladores de pressão. A distância entre a extremidade da pá e o defletor deve ser da ordem de 6,0 mm, embora dificilmente se consiga este valor. A distância entre o ventilador e a colméia do radiador deve ser de 1/3 vezes o diâmetro do ventilador, mas nunca inferior a 120 mm.

16.4.1 – CÁLCULO DA QUANTIDADE DE AR

A ventilação da sala de máquinas é indispensável a uma operação sem problemas do grupo gerador.

Tal como foi mencionado, é necessária uma quantidade considerável de ar para arrefecimento do radiador, troca de calor do alternador, combustão do motor Diesel e

arraste do calor irradiado pelas partes quentes do motor, como bloco, cabeçotes, turbo-alimentador, coletor e tubulação de escapamento.

A fim de se manter no mínimo possível o calor irradiado e, por conseguinte, o volume de ar de arrefecimento, os tubos de escape e silenciadores, localizados dentro do edifício, deverão ser sempre revestidos com material termo-isolante.

O diagrama acima, mostrando as quantidades de ar exigidas para a dissipação do calor irradiado pelo motor, o calor devido às perdas do alternador e incluindo o ar de combustão necessário às diversas diferenças de temperatura admissíveis por kVA, satisfaz plenamente, para uma elaboração de projeto.

Em casos especiais, pode ser necessário um cálculo separado das quantidades de ar de arrefecimento, que também será visto a seguir.

16.4.1.1 – CALOR IRRADIADO PELO MOTOR DIESEL

Geralmente, o calor irradiado pelo motor Diesel é indicado como uma percentagem do calor contido no combustível injetado.

Os valores seguintes podem ser tomados como base para o cálculo das quantidades de calor irradiado e de ar.

Até 100 CV	6%
De 100 a 500 CV	5%
Acima de 500 CV	4%
Para Motores refrigerados a ar (todos)	7%

As percentagens são valores de referência, pois é muito difícil determinar os valores exatos do calor irradiado.

Para motores turbo-alimentados, os valores podem ser tomados com cerca de 1% abaixo e para motores com pequeno número de cilindros os valores podem ser bastante superiores. O tubo coletor de escape montado no motor está sendo considerado, mas não a tubulação do escape que vai além.

O calor total, irradiado pelo motor Diesel, é calculado como segue, pressupondo que os tubos de escape, de considerável comprimento, estejam isolados.

P_A (KVA)	= Potência do alternador
P_D (CV)	= Potência efetiva do motor
H_u (kCal/kg)	= Valor calorífico do óleo Diesel = 10.000
b_c (kg/CV.h)	= Consumo específico de combustível do motor Diesel, segundo DIN 6270. A tolerância é de mais 5% sobre o valor informado pelo fabricante.
c_p (kCal/m^3 °C)	= Calor específico do ar = 0,31
t_{L1} (°C)	= Temperatura máxima do ar externo, medida por quatro horas consecutivas
t_{L2} (°C)	= Temperatura ambiente máxima admitida no recinto. Geralmente, para o alternador 40°C. Para o motor Diesel, acima de 20°C há redução de potência. (vide capítulo 3)
Δ_{tL} (°C)	= t_{L2} - t_{L1}
V_S	= Quantidade de ar para dissipar o calor irradiado pelo motor
V_A	= Quantidade de ar para dissipar o calor devido às perdas do alternador
Q_{St} (kCal/h)	= Calor total irradiado a ser dissipado por hora
Q_{StD} (kCal/h)	= Calor total irradiado pelo motor Diesel
q_{StD} (%)	= Calor específico irradiado pelo motor Diesel, como uma percentagem do calor admitido (quantidade de combustível injetado)
Q_{StA} (kCal/h)	= Calor devido às perdas do alternador
η_A (%)	= Rendimento do alternador
V_L (m^3/h)	= Consumo de ar
V_v (m^3/h)	= Consumo de ar de combustão
v_v (m^3/CV.h)	= Consumo de ar específico de combustão
k	= Coeficiente de correção para o nível do barômetro e temperatura. Para um estado de referência conforme DIN 6270, k = 1,1

O calor total, irradiado pelo motor Diesel, é:

$$Q_{StD} = \frac{P_D . b_c . H_u . q_{StD}}{100}$$

16.4.1.2 – CALOR DEVIDO ÀS PERDAS DO ALTERNADOR

O calor devido às perdas do alternador é calculado como segue:

$$Q_{StA} = P_A . \cos \varphi . \left(\frac{100}{\eta_A} - 1 \right) .860 \qquad \text{(kCal/h)}$$

Se o rendimento do alternador não é conhecido, adotar 85% para alternadores até 100 KVA e 90% para alternadores maiores que 100 KVA.

AR DE COMBUSTÃO

A quantidade de ar de combustão só poderá ser adicionada à demanda total de ar se ele for aspirado da sala das máquinas. Para um cálculo aproximado das quantidades de ar de combustão, v_v **= 4 m³/CV.h** pode ser admitido para motores de aspiração natural e cerca de **4,5 m³/CV.h** para motores turbo-alimentados.

A quantidade de ar de combustão por hora é $V_v = P_D \cdot v_v$ (m³/h).

A quantidade total de ar é, como segue: $V_L = V_v + (V_{StA} + V_{StD}) \cdot k$

Ou

$$V_L = V_v + \frac{Q_{StD} + Q_{StA}}{c_p . \Delta_{tL}} .k \qquad \text{em m}^3\text{/h.}$$

$$V_S = \frac{Q_{StD}}{c_p . \Delta_{tL}} \qquad \text{e} \qquad V_A = \frac{Q_{StA}}{c_p . \Delta_{tL}}$$

Conversão de unidades: kW – CV – kCal

1 (kW)	860 (kCal/h)	1,36 (CV)
1 (CV)	632 (kCal/H)	0,74 (kW)
1.000 (kCal/h)	1,575 (CV)	1,16 (kW)

Exemplo de cálculo:

Potência nominal do motor: 400 HP (turbo-alimentado).

(= 400 x 1,014 = 405,6 CV),

Potência do alternador: 330 KVA

$\cos\varphi = 0,8$

$\eta_A = 0,92$

$t_{L1} = 25°C$

$t_{L2} = 40°C$

Consumo específico de combustível = 180 g/CV.h

Condições atmosféricas = 25°C e 610 mm Hg

Cálculos:

Calor irradiado pelo motor: Q_{StD} = (405,6 x 0,185 x 10.000 x 4) ∣ 100

Q_{StD} = 30.014,4 kCal/h

Calor devido à perda do alternador: Q_{StA} = 330 x 0,8 x {(100 ∣ 92) - 1} x 860

Q_{StA} = 19.742,60 kCal/h

Quantidade total de calor a ser dissipada: $Q = Q_{StD} + Q_{StA}$ = 49.757 kCal/h

Ar de combustão: V_v = 405,6 x 4,5 ⇔ V_v = 1.822,5 m^3/h

Coeficiente de correção: k = 1,25 (vide correção das condições atmosféricas)

Quantidade total de ar necessário: V_L = 1.822,5 + {(49.757 x 1,25) ÷ (0,31 x 15)}

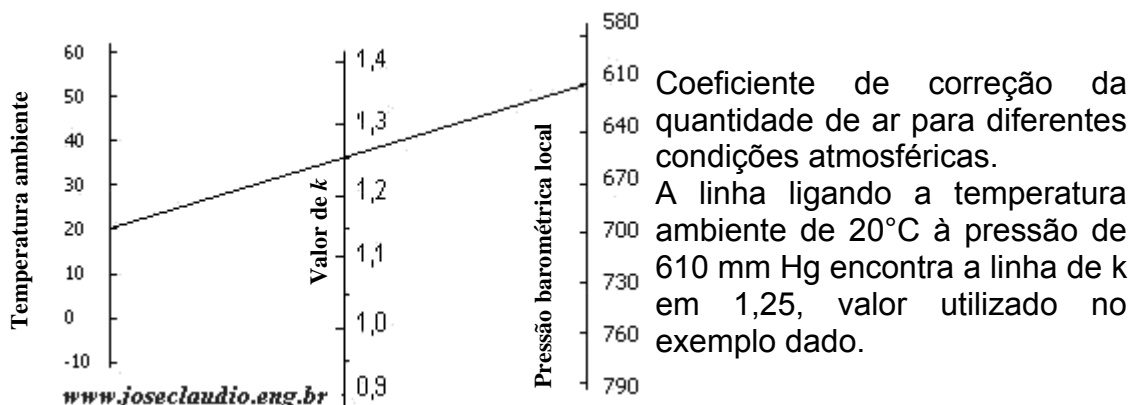
V_L = 15.198,03 m^3/h

Se utilizássemos o gráfico da página anterior, teríamos encontrado, para 15°C de elevação de temperatura admissível, ≈ 40 m^3/KVA.h, que multiplicados pela potência do alternador, 330 KVA, com o fator de correção k = 1,25, resultaria em 16.500 m^3/h.

16.4.1.3 – CORREÇÃO POR INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS

Todos os cálculos de volume de ar tem por base o peso específico do ar de 1,291 kg/m^3 a 0°C e 760 mm Hg e 60% de umidade relativa. O peso específico é reduzido em aproximadamente 0,045 kg/m^3 para cada elevação da ordem de 10°C dentro da gama de temperaturas ocorrentes para este cálculo. Para cada 10 mm Hg de redução na pressão do ar, o peso específico é reduzido em 0,015 kg/m^3.

No caso de condições atmosféricas consideravelmente divergentes dos valores normais, estas correlações devem ser levadas em conta mediante um coeficiente de correção "*k*", com o qual é multiplicada a quantidade de ar $\boldsymbol{V_L}$ encontrada. O coeficiente de correção resultará do ábaco a seguir, desde que a temperatura e a pressão barométrica existente no local da instalação sejam conhecidas.

Coeficiente de correção da quantidade de ar para diferentes condições atmosféricas.
A linha ligando a temperatura ambiente de 20°C à pressão de 610 mm Hg encontra a linha de k em 1,25, valor utilizado no exemplo dado.

16.4.1.4 – AR DE ARREFECIMENTO PARA RADIADOR DE ÁGUA

O tipo de arrefecimento utilizado na maioria dos grupos geradores é por radiador com circuito fechado. Outros tipos de arrefecimento, como torre, trocador de calor, arrefecimento a ar e circuito aberto com água perdida não serão abordados no presente trabalho.

No sistema com radiador, o calor é transferido do motor para a água e desta para o ar que é pressionado por um ventilador. Se necessário, o ventilador poderá ser acionado por um motor elétrico e instalado independentemente do motor Diesel (montagem remota). O abastecimento de água é efetuado apenas uma vez, sendo que somente pequenas quantidades de água deverão ser adicionadas em virtude das eventuais perdas por vazamento evaporação.

No caso de arrefecimento por ventilador, o considerável fluxo de ar serve também para a ventilação da sala de máquinas e a dissipação do calor irradiado, eliminando, assim, a necessidade de uma instalação de ventilação separada na sala de máquinas. Para que a velocidade do ar na sala de máquinas não seja muito alta, a renovação não deverá se fazer mais de 100 vezes por hora.

ARREFECIMENTO POR VENTILADOR ACOPLADO AO MOTOR – VALORES DE REFERÊNCIA.

a) Para motores com injeção direta:

- 60 m^3/CV.h a temperatura ambiente de 30°C;
- 75 m^3/CV.h a temperatura ambiente de 37°C e
- 85 m^3/CV.h a temperatura ambiente de 45°C.

A quantidade de calor dissipada pela água é de 550 kCal/CV.h, para motores abaixo de 100 CV e de 450 kCal/CV.h para motores maiores que 100 CV.

b) Para motores com câmara de pré-combustão:

Cerca de 15% acima do necessário para os motores com injeção direta.

A quantidade de calor dissipada é, aproximadamente, de 650 kCal/CV.h para motores abaixo de 100 CV e de 600 kCal/CV.h para motores acima de 100 CV.

c) – As temperaturas de operação para os motores são:

- Até 100 CV: entre 65°C e 95°C, aproximadamente;
- Até 200 CV: entre 65°C e 90°C, aproximadamente e
- Acima de 200 CV: entre 65°C e 85 °C.

A diferença máxima de temperatura da água na entrada e na saída não deve ser superior a 10°C.

A circulação de água é de cerca de 70 a 80 litros/CV.h.

Um coletor de escape refrigerado a água (mufla), dependendo da sua construção, pode dissipar uma quantidade de calor de 100 a 180 kCal/CV.h.

Para produzir potência plena e obter uma operação isenta de desgaste, o motor deve atingir a sua temperatura operacional o mais rapidamente possível. Por esta razão, a água de arrefecimento é conduzida do motor, diretamente para a bomba, através dos termostatos e das tubulações de desvio, antes de atingir a temperatura operacional. Somente após ter atingido a temperatura operacional é que os termostatos liberam a passagem, automaticamente, para o radiador.

A queda de pressão admissível nos dutos de entrada e saída do ar é de 20 mm de coluna d'água, sendo esta queda de pressão total entre o lado de sucção e o de descarga do ventilador. Em caso de uma queda de pressão maior, deve-se instalar um ventilador adicional.

Quando houver necessidade de instalação remota do radiador, é necessário considerar as pressões e vazões requeridas pelo motor, para o dimensionamento das tubulações. A distância e altura não devem gerar contrapressão superior `a capacidade da bomba do motor. Se houver necessidade, pode-se instalar uma bomba elétrica para fazer circular a água.

16.5 – GASES DE ESCAPE

O sistema de escapamento de gases deverá ser cuidadosamente projetado, porque uma execução inadequada influenciará a potência, bem como o nível de ruído do motor. Em nenhuma circunstância poderá a contrapressão, no sistema de escapamento, exceder o valor permitido pelo fabricante do motor. Em casos de temperatura excessiva dos gases de escape, a contrapressão no coletor de escape ou a temperatura do ar de admissão é inadmissivelmente alta.

Os valores de resistência máximos admissíveis do sistema de escapamento total são os seguintes:

Para motores com aspiração natural: 600 a 1.200 mm de coluna d'água.

Para motores turbo-alimentados: 250 a 500 mm de coluna d'água.

A resistência ao fluxo é medida imediatamente na extremidade do tubo de escape ou na parte posterior o turbo-alimentador.

A tubulação deve ser constituída por um tubo de aço carbono, com espessura mínima da parede de 3,0 mm, pois deve ser considerado um desgaste acentuado, devido ao calor e à umidade. Para tubulação com comprimento além de 5 metros aproximadamente, deverá ser previsto um tubo de diâmetro maior, de acordo com as instruções do fabricante do motor. O aumento deverá corresponder ao comprimento total da tubulação, incluindo os cotovelos e deve ter início imediatamente na saída do coletor ou da peça de conexão flexível.

Tubos de maiores comprimentos e diâmetros menores do que os recomendados pelo fabricante do motor aumentarão a resistência e a temperatura do motor, diminuindo, portanto, sua vida útil.

Para a conexão do coletor de escape do motor com a tubulação instalada rigidamente, deverá ser empregada uma peça de conexão flexível, instalada diretamente no motor, a fim de compensar as vibrações e a expansão térmica . A tubulação não poderá transmitir quaisquer esforços ao motor, especialmente se for turbo-alimentado, onde a conexão flexível é montada diretamente na saída do turbo-alimentador. Como a maioria dos grupos geradores são elasticamente apoiados, os tubos estão sujeitos não apenas à expansão térmica, mas também a vibrações, que poderão ser particularmente intensas quando da partida e parada do motor Diesel.

A tubulação de escape de diversos motores não deve desembocar numa tubulação comum, porque a contrapressão e o refluxo dos gases de exaustão provocam a formação de sedimentos quando o motor não estiver funcionando, colocando em risco a segurança operacional.

Devem ser adotadas as mesmas medidas de proteção, tanto para tubos de admissão quanto para tubos de escape, contra a entrada de água de chuva e respingos. A entrada de água no motor pode causar danos consideráveis ocasionados pela corrosão ou por calço hidráulico na partida.

Nos motores em "V", é mais conveniente combinar os dois tubos de escape, a fim de facilitar sua disposição e suprimir o ruído.

Os cálculos de escoamento de gases através de tubulações apresentam um certo nível de complexidade. Em determinados casos, não se pode evitar executar os cálculos com certa precisão, porém, nas aplicações mais freqüentes, podemos adotar gráficos e fórmulas empíricas para avaliar as dimensões das tubulações de escape de uma forma mais prática.

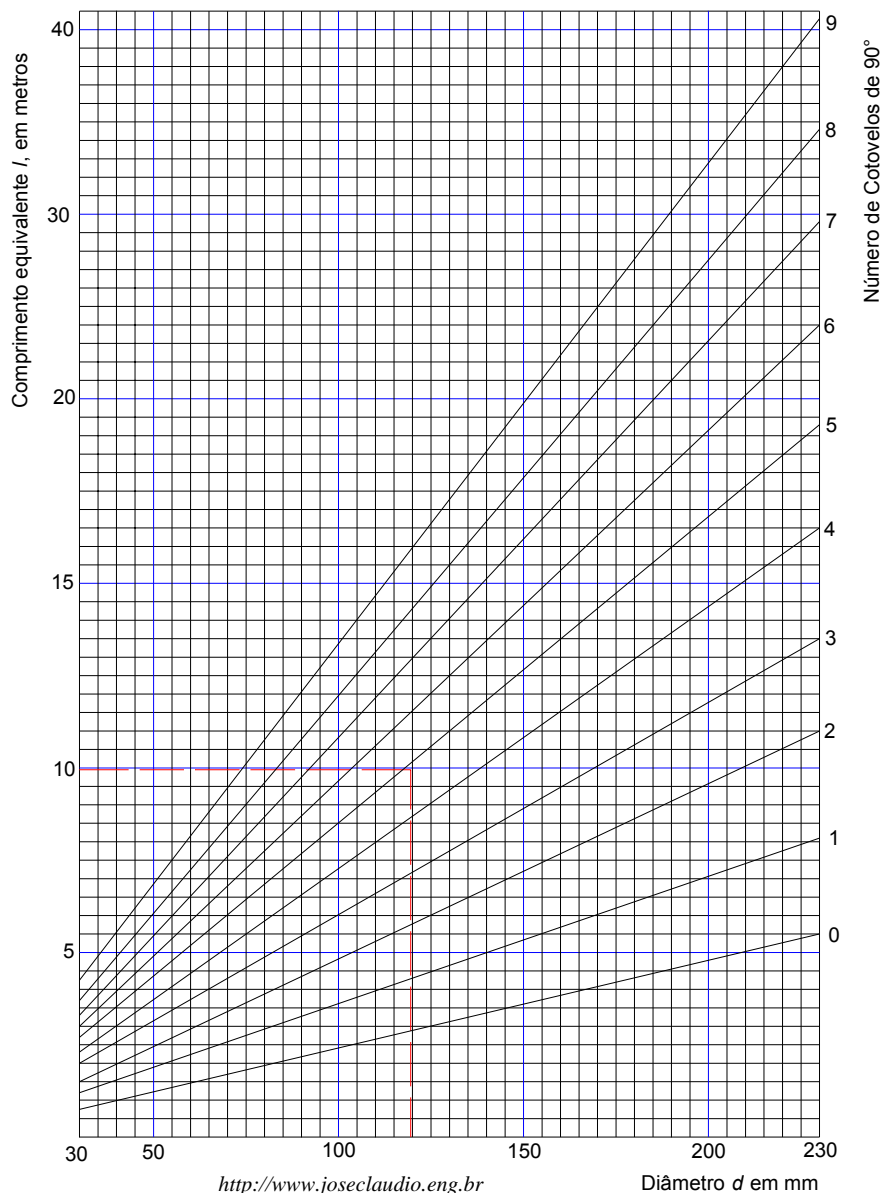
O método mais simples, consiste em:

a) – medir o comprimento geométrico da tubulação;

b) – calcular as perdas de carga, devidas às curvas ou outros acidentes, com o auxílio de tabelas aplicáveis;

c) – somar o comprimento geométrico ao comprimento equivalente das perdas de carga para encontrar o comprimento total.

d) – conhecendo-se a vazão dos gases de escape (deverá ser informada pelo fabricante do motor Diesel), calcula-se um diâmetro para a perda de carga desejada ou adota-se um valor de diâmetro conhecido e testa-se pelas fórmulas se a perda de carga produzida atende aos requisitos da instalação.

A tabela abaixo fornece os comprimentos equivalentes para as curvas de 90° de tubulações de escape. As curvas de 45° devem ser consideradas como a metade das de 90°. Não utilizar curvas (joelhos) com raio menor do que 2,5 vezes o diâmetro do tubo. Evitar a utilização de curvas de gomos, sempre que possível. Não havendo outra alternativa, considerar os valores de perda de carga em dobro dos indicados na tabela abaixo.

Para o cálculo das resistências ao fluxo em tubulações de escape são válidas as fórmulas abaixo, onde:

d	= diâmetro interno do tubo em (m)
g	= 9,81 m/s^2
G	= vazão dos gases de escape (kg/h)
L	= $l + \Sigma l'$ = comprimento total da tubulação (m)
P	= potência do motor (CV)
q	= quantidade específica de gases de escape (kg/CV.h)
R	= raio médio do cotovelo (m)
t	= Temperatura dos gases de escape (°C)
w	= Velocidade dos gases de escape (m/s)
γ	= peso específico (kg/m^3) $\geqslant \gamma = 1,29$
λ	= $0,01(k'/d)^{0,314}$ = coeficiente de resistência segundo Hopf
ΔP_g	= resistência total do fluxo (kg/m^2 ou mm de c.a.)

$$\Delta_{Pg} = \frac{\lambda . L . \gamma . w^2}{2 g . d}$$ Em kg/m²

Para um tubo de 1 m *k'* = 7 e 760 mm Hg, pode-se deduzir a seguinte fórmula:

$$\Delta_P = \frac{1{,}174 . G^2}{10^{10} . d^{5{,}314} . \gamma}$$ Em mm c.a./m de tubo.

Exemplo de cálculo:

Dados:

P = 500 CV

q = 7,5 kg/ CV.h

l = 15 metros de tubo reto de 200 mm de diâmetro interno.

3 curvas de 90°, ***R/d*** = 2 e 1 curva de 45° ***R/d*** =2

Solução:

G = P.q ⇔ 500 x 7,5 = 3.750 kg/h

l' = 24 + 7 = 31 m (3 cotovelos com R/d < 2,5 considerados em dobro e curva de 45° também com R/d < 2,5 considerada igual a uma curva de 90°, na tabela da página anterior, para tubo de 200 mm de diâmetro.)

Δ_P = 6,63 mm de coluna d'água por metro de tubo

L = *l* + $\Sigma l'$ ⇔ ***L*** = 15 + 31 = 46 metros

ΔP_g = Δ_P x ***L*** ⇔ 6,63 x 46 = 305 mm de coluna d'água.

Ao valor encontrado é necessário adicionar a perda de carga inerente ao silencioso de escape, quando for o caso, e comparar com os valores admitidos de 600 a 1200 mm de coluna d'água para motores de aspiração natural e de 250 a 500 mm de coluna d'água para motores turbo-alimentados.

Em geral, os silenciadores para uso industrial, com volume de 4 a 6 vezes a cilindrada do motor, oferecem uma resistência de 150 a 200 mm de coluna d'água.

17 – CUIDADOS PRINCIPAIS DE OPERAÇÃO

Manter registro das horas de operação e consumo de água, combustível e óleo lubrificante, bem como das intervenções de manutenção e/ou reparos.

Quando for necessário fazer solda elétrica na base ou em local próximo ao grupo gerador, desligar os cabos entre as baterias e o alternador de carga das mesmas, para preservar os diodos retificadores do regulador.

Não operar o grupo gerador em marcha lenta a menos que o mesmo seja provido de um dispositivo para desligar o regulador automático de tensão do alternador (ou a excitatriz estática, quando for o caso) durante os períodos de operação em marcha lenta. Como a regulação da tensão independe da freqüência, com o motor trabalhando em rotação baixa, o regulador automático de tensão irá suprir corrente para o campo com o objetivo de alcançar a tensão nominal, elevando a corrente de excitação a valores que poderão danificar os seus circuitos.

Não se deve parar o motor imediatamente após um período de operação sob carga, pois o calor armazenado nas massas de ferro provocará ebulição da água em volta das camisas e nas passagens do cabeçote, se o fluxo for interrompido repentinamente. Nos grupos geradores com sistema de partida e parada automáticas este tempo de trabalho em vazio deve ser ajustado para 3 a 5 minutos. Nos motores turbo-alimentados, este procedimento é particularmente importante para evitar que turbo-alimentador permaneça girando sem lubrificação após a parada do motor.

Diariamente é necessário verificar os níveis do óleo lubrificante e da água do radiador.

Não permitir que o motor trabalhe sem a tampa do radiador ou do tanque de expansão, conforme o caso. Quando as vedações das tampas se danificam, é necessário substituí-las por novas. A ausência de pressão no sistema de refrigeração do motor propicia cavitação nas camisas dos cilindros, podendo danificá-las com poucas horas de serviço.

Ao dar partida, não acionar o motor de partida por mais de 30 segundos continuamente. Após cada período de 30 segundos de acionamento, aguardar de 3 a 5 minutos para tentar nova partida. Este procedimento é necessário para preservar o motor de partida, uma vez que a temperatura do enrolamento do mesmo se eleva rapidamente quando em serviço.

Na medida do possível, manter sempre cheio o tanque de combustível.

Diariamente inspecionar o equipamento quanto a vazamentos de combustível, lubrificante ou água de refrigeração. Se constatar alguma irregularidade, providenciar correção antes de utilizar o grupo gerador.

Não deixar o grupo gerador sem funcionar por longos períodos. Acioná-lo, no mínimo, durante meia hora sob carga uma vez por semana.

Drenar diariamente os sedimentos do tanque de combustível e do filtro separador de água.

Quando o grupo gerador tem como consumidores diversos motores elétricos, observar que primeiro deve-se partir os motores de maior potência.

Não operar o grupo gerador com baixa pressão de óleo lubrificante, temperatura da água de refrigeração alta, ruído anormal, excesso de fumaça ou vazamentos nos sistemas de refrigeração, lubrificação ou de combustível.

Grupos geradores equipados com sistema de partida automática podem ser acionados por uma interrupção no fornecimento de energia elétrica a qualquer momento. Portanto, quando ligados nesta condição, devem estar abastecidos de água, combustível e óleo lubrificante, bem como sem nada nas proximidades que possa interferir com o seu funcionamento.

18 – MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Em primeiro lugar, atentar para as recomendações do fabricante, contidas na documentação técnica fornecida.

O grupo gerador não deve visto como um equipamento isolado mas, sim como o item principal do sistema alternativo de abastecimento de energia elétrica, que, como um todo, merece atenções específicas, dependendo de cada instalação.

Em linhas gerais, o grupo gerador, além dos cuidados diários de operação, exige pouca manutenção.

Os fabricantes recomendam, primordialmente:

I. Efetuar as trocas de óleo lubrificante e filtros. Utilizar óleo e filtros adequados e, se possível, de boa qualidade;

II. Inspeção diária quanto a vazamentos de óleo lubrificante, água e combustível;

III. Antes de colocar o grupo gerador em serviço, verificar níveis de água do radiador e de óleo lubrificante;

IV. Durante o funcionamento do grupo gerador observar se há ruídos anormais;

V. Drenar diariamente o sistema de combustível (tanque e filtros, para evitar o acúmulo de água que possa danificar os componentes do sistema de injeção);

VI. Limpeza e substituição dos elementos de filtro de ar;

VII. Inspeção periódica do sistema de admissão de ar;

VIII. Limpeza do radiador e troca da água de refrigeração, nos períodos recomendados;

IX. Regulagem das folgas de válvulas;

X. Inspeção da tensão das correias e ajuste quando necessário;

XI. Inspeção do cubo e demais componentes de acionamento do ventilador;

XII. Revisão do turbo-alimentador, com substituição das vedações internas e balanceamento dinâmico dos rotores (melhor substituir o turbo a base de troca)

XIII. Medir a resistência de isolação do alternador; Se necessário, fazer a “secagem” das bobinas;

XIV. Lubrificar os rolamentos do alternador;

XV. Reapertar cabos e conectores elétricos;

XVI. Substituir mangueiras ressecadas;

XVII. Completar o nível do eletrólito das baterias;

XVIII. Manter os bornes de baterias untados com vaselina neutra, para evitar a formação de crostas de óxidos;

XIX. Revisar bomba e bicos injetores e

XX. Inspecionar o amortecedor de vibrações;